農業試驗所特刊第152號
Special Publication of TARI No. 152

農作物害蟲及其媒介病害整合防治技術研討會

行政院農業委員會農業試驗所
Taiwan Agricultural Research Institute , Council of Agricultural
Taichung, Taiwan , Republic of China

中華民國一百年七月
July, 2011

農業試驗所特刊第152號

農試所特刊第 152 號
Special Publication of TARI No. 152

農作物害蟲及其媒介病害整合防治技術研討會專刊

Proceedings of the Symposium on Integrated Management Technology of Insect Vectors and Insect-Borne Diseases

主編　石憲宗 張宗仁

Edited by
Hsien-Tzung Shih and Chung-Jan Chang

行政院農業委員會農業試驗所
Taiwan Agricultural Research Institute, COA
行政院農業委員會動植物防疫檢疫局
Bureau of Animal and Plant Health Inspection and Quarantine, COA

中華民國一〇〇年七月

July 2011

農作物害蟲及其媒介病害整合防治技術研討會專刊

目 錄

序 -- i

蟲媒病害與植物防疫政策--- 張瑞璋 1

國際重要作物原核生物性病害及其媒介昆蟲之研究回顧------------------- 張宗仁 9

台灣葡萄皮爾斯病及媒介昆蟲研究現況 ------------------------------------- 蘇秋竹 25

Xylella fastidiosa 的媒介昆蟲生態學與傳病機制 ---------------------------- 段淑人 51

台灣農作物重要菌質體病害研究現況 -- 洪挺軒 63

柑橘黃龍病之發生生態及防治研究--- 蔡佳欣 73

中國梨木蝨及其媒介病害梨衰弱病整合防治--------------------------------- 張淑貞 91

傳播植物原核生物性病害媒介昆蟲之整合防治研究進展------------------- 石憲宗 107

傳播植物番茄斑點萎凋病毒群病害之薊馬及其防治研究------------------- 林鳳琪 123

三十年來台灣瓜類病毒病的流行趨勢變遷------------------------------------ 鄧汀欽 147

小蠹蟲及其共生真菌與植物病害之關係-- 陳啟予 165

傳播農作物病毒重要粉介殼蟲之防治策略------------------------------------ 陳淑佩 175

傳播農作物病毒重要蚜蟲之防治策略-- 蔡志偉 183

銀葉粉蝨傳播蔬果雙生病毒及其防治研究------------------------------------ 林鳳琪 193

粉蝨傳播 Criniviruses 之生物學及其防治策略-------------------------------- 黃莉欣 205

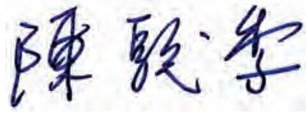
序

蟲媒病害對農作物所造成的經濟損失，遠高於昆蟲或病害單獨造成的損失，其直接影響範圍包括糧食安全 (產量問題) 與食品安全 (農藥殘留問題) 兩大課題，這也是爲何農業先進國家多將蟲媒病害的整合防治技術，列爲待解決的農業重要課題。

有效的蟲媒病害及其媒介昆蟲之整合管理技術，對產區與社會的經濟效益皆有所助益，其操作過程必需考量作物生育特性、肥培管理與氣候條件，於適當時機、運用適用防治方法，使防治過程兼具經濟效益與環境安全，建立適地與適用且受農友認同的整合管理技術。爲此，由本所與防檢局組成本次研討會籌備小組，針對國內外蟲媒病害的研究現況、蟲媒病害整合防治技術與因應政策等議題，邀請國內外專家與會報告，並將專家書面論文編印爲本專刊，盼可作爲我國擬定蟲媒病害防治管理政策及研究重點的參考。

本研討會籌辦過程，值王清玲組長、錢景秦研究員及侯豐男教授等昆蟲界傑出研究專家，於本年七月份陸續榮退，在此亦代表本所同仁向三位專家致上敬意，並祝福他們身體健康、萬事如意。

行政院農業委員會農業試驗所
所長



中華民國一〇〇年七月

蟲媒病害與植物防疫政策

張瑞璋[1] 邱安隆[1] 陳保良[1] 蔡偉皇[1,*]

[1] 行政院農業委員會動植物防疫檢疫局
[*] 通訊作者 e-mail: tsaiwh@mail.baphiq.gov.tw

摘 要

由昆蟲媒介的蟲媒作物病害，近年來在臺灣的發生有逐漸加劇之現象，國內此類蟲媒病害之病原菌以病毒與細菌爲主，少數爲眞菌及其他病原菌，又媒介此類病原菌之昆蟲多屬於小型害蟲，包括薊馬、蚜蟲、粉蝨與葉蟬等，其具有世代短、隱匿性高、遷飛能力強及易產生抗藥性等特性。臺灣因地處亞熱帶及熱帶地區，此類媒介昆蟲的族群數量龐大，不僅活動範圍廣且繁殖力強，農民如要同時防治病害與蟲害，或當媒介昆蟲不是該項作物之主要害物時，蟲害防治容易遭忽略，而未能即時阻斷傳播途徑，均提高蟲媒病害防疫工作之困難度。國內所發生之洋香瓜病毒病、柑桔黃龍病及番茄斑點萎凋病等重大蟲媒病害，均增加農民於農作物生產上之防治成本與風險，甚至造成嚴重疫情，嚴重影響產業及農民收益至鉅。針對此類重大蟲媒病害，防檢局研擬相關疫情管理策略，包括：疫情監測與組織分工、整合性防治技術開發、組訓農民與示範宣導、種子種苗病害檢查規範訂定、國際疫情資訊蒐集與法規防治等，期能協助農民並強化蟲媒病害防疫體系，除於第一線的檢疫把關外，並與第二線之防疫措施緊密配合，未來更應在現有的基礎與成果上，順應國際趨勢的發展，加強國際疫情資訊蒐集，適時增修訂相關法規，以落實生物安全農業措施，並在健全植物保護體系政策下，強化與各植物保護單位之分工，且縝密規劃作物病害施政重點策略，持續改善各項防疫缺失並提升相關防疫技術，以確保國內生產環境安全及農業之永續發展，維護農產品的衛生安全及消費者的健康。

關鍵詞：防疫政策、植物病害、媒介昆蟲。

前 言

臺灣地處亞熱帶及熱帶地區，多元而複雜的氣候及環境適於作物生產，作物種類極具多樣性，依據「台灣植物病害名彙」及「台灣植物害蟲名錄」統計，植物病蟲害種類約有 4,600 種 (郭等, 2008)，氣候高溫多濕與作物全年栽培的環境，極適合病蟲害全年繁衍發生蔓延。其中由昆蟲媒介的農作物病害，近來在臺灣有逐漸加劇現象，國內發生之重大蟲媒病害如洋香瓜病毒病、柑桔黃龍病及番茄斑點萎凋病等，均增加農民栽培農作物時之生產風險與防治成本，甚至發生嚴重疫情，致嚴重影響該等產業之發展，影響農民收益甚鉅，例如 95 年 11 月底臺南地區，僅安南區及七股鄉洋香瓜受病毒感染的平均罹病率就超過 30%，嚴重

受害田甚至高達 90%，受害面積超過 500 公頃，損失約達 2.5 億元 (蔡, 2009)。此類病害除一般病害之傳播途徑外，其藉由昆蟲媒介傳播之特性，使其除了防病，亦要兼顧防蟲，更增加農作物栽培管理上之困難度，另媒介病原菌的昆蟲多屬小型害蟲，包括纓翅目的薊馬、半翅目的蚜蟲、粉蝨、葉蟬與飛蝨等，具有世代短、隱匿性高及易產生抗藥性等特性，如果農友在採收期間未能妥善用藥，易引發農藥殘留，影響消費者健康。由於臺灣地區的氣候條件適於媒介昆蟲的繁衍，農民在防治蟲媒病病害時，必須先瞭解病害發生原因與媒介昆蟲生活習性，以掌握防治時機與採取適當防治對策。

植物防疫政策與蟲媒病害管理措施

行政院農業委員會動植物防疫檢疫局 (以下簡稱防檢局)配合行政院農業委員會「健康、效率、永續經營之全民農業」農業施政方針下，執行健全動植物防疫檢疫體系之政策，並訂定施政三大目標包括：一、健全農業防疫檢疫網，確保農產品衛生安全；二、發展農業防疫檢疫功能，強化產學資源整合；三、加強國際農業防疫檢疫合作，開拓農業發展空間 (張等, 2010a)。植物防疫工作積極推動健全植物保護體系，建立區域性安全防疫體系整合機制，於行政與技術之面向上，強化區域性植物保護業務的聯繫，除推動各地方政府成立植物保護專責單位，並在此架構下依據植物防疫檢疫法及國際規範，落實推動相關疫情管理措施。

爲達成防檢局訂定之施政三大目標，乃研擬包括：疫情監測與組織分工、整合性防疫技術開發與推廣、種子種苗驗證、境外重要病害之偵察調查及緊急防治等多項植物防疫施政重點工作。本研討會所邀請的國內外蟲媒病害專家，將就重要蟲媒病害及其媒介昆蟲的研究現況、關鍵防治技術及研究缺口等議題進行報告與意見交換，防檢局期能廣納建議作爲作物蟲媒病害防治政策與研究方向的參考。以下僅就目前防檢局所定植物防疫施政重點與蟲媒病害相關部分之略以說明。

一、疫情監測與組織分工

疫情監測主要任務，在於以有效掌握國內重大蟲媒病害疫情發生之時空分布，並能採取相應措施，經累積長期監測資料，建構疫情預警機制，期能事先提出疫情風險預告，使各級政府組織、農會及農民可提早準備從容因應 (郭等, 2008)。防檢局目前針對重要農作物之蟲媒病害，委請植物保護相關單位 (如農業試驗所、農業藥物毒物試驗所、各區農業改良場及大專院校植物保護相關系所) 之植物病理學與昆蟲學專家，組成團隊以分工方式共同執行蟲媒病害與媒介昆蟲密度之專案計畫，以強化蟲媒病害及其媒介昆蟲的監測工作。

以洋香瓜病毒病害爲例，爲能充分掌握田間疫情發生情形，目前除執行計畫之監測團隊，調查洋香瓜罹病情形與媒介昆蟲族群數量及帶毒率，並定期填報調查資料外，亦列爲臺南區農改場 (以下簡稱臺南場) 病蟲害之主動監測種類清單，以監控疫情發生狀況，並在病害發生初期事先預警，通知各單位及農民啓動防治措施；如遇即時疫情發生，接獲通報的單位隨即將資訊向防檢局通報，並經臺南場研判後，適時啓動防治工作。另針對國內重大或突發性疫情，各區農業改

良場及茶業改良場於發布警報後，均將疫情登錄於植物疫情管理資訊網，防檢局經分析研判後啓動該些警報，透過農委會「田邊好幫手」手機簡訊，適時將資訊傳送予相關單位及農民以加強防範。此外，對重要媒介昆蟲 (如粉蝨與薊馬) 之抗藥性，亦組成團隊進行調查，以防範媒介昆蟲產生抗藥性，或是抗藥性生物小種的出現。

二、整合性防治技術開發與推廣

防檢局在推動作物有害生物整合性管理（Integrated Pest Management），係以符合經濟成本並結合各種不同的防治措施，將作物病蟲害的數量壓制在經濟危害水平之下，以獲得最大的效益。蟲媒病害防治工作，同時涉及病害與蟲害防治，更須整合各種防治方法，包括透過建立田間衛生觀念及推動合理化用藥等措施 (張等, 2010b)，運用生物防治、物理防治、化學防治及田間管理等技術 (古, 2003)，藉以研發省時、省力、省成本的田間操作程序，並提供農民最經濟有效的整合防治技術。包括 (一) 進行產官學計畫研發能量整合，建立作物疫病蟲害整合管理模式與作業流程，另盤點研發成果對技術缺口予以補強，並經田間試驗操作予以檢討改進，俾求該管理模式完善符合農民之需求；(二) 舉辦整合管理講習及田間觀摩，加強農民組訓工作，編印作物病蟲害整合性管理行事曆，宣導農民正確的防治方法。

目前防檢局針對作物蟲媒病害整合防治之推動工作，包括 (一) 作物病蟲害整合管理技術補強：請農委會所屬試驗研究機關與大專院校之專家，協助進行開發該等技術，並規劃於 101 年度防檢疫領域計畫中，執行「小型昆蟲與蟲媒病害防治技術之研究與應用」研究項目，針對小型害蟲與重要作物蟲媒病害之管理技術進行研發；(二) 彙編作物病蟲害整合性管理摺頁或手冊，已完成洋香瓜、葡萄、木瓜、文旦、柑橘等 18 種作物，進行作物病蟲害整合性管理，另請中興大學農業推廣中心協助彙整並編製成冊供農民參考，未來將納入前項工作所開發之技術與方法，隨時進行更新；(三) 辦理田間試驗：請農委會 7 個農業改良場及香蕉研究所協助辦理作物病蟲害整合性管理田間試驗及成果示範觀摩會，以提供給農友參考使用；(四) 辦理教育宣導：由農委會所屬試驗研究機關、地方政府及防檢局分別舉辦作物病蟲害整合性管理講習會，宣導農民正確的防治方法。以防治洋香瓜病毒病爲例，2009 年防檢局與臺南場、臺南縣(市) (現合併爲臺南市)政府及相關農會共同辦理整合性防治技術示範推廣，有效控制臺南地區洋香瓜病毒病發生率在 10％ 以下，提高臺南地區農民收益約 6 千萬元 。

三、種子種苗病害驗證制度推動

種子種苗乃作物栽培之根本，健康種子種苗能保證作物初期正常生長，藉由減少田間感染源而有效延緩或減輕後續栽培可能發生的病害，因此種子種苗病害驗證成爲關鍵性的病害管理策略 (張, 2008)。選用健康種苗，爲防範蟲媒病害之措施之一，爲避免農民有種苗植株帶毒的疑慮，以及減少農藥使用，防檢局積極推動植物健康種苗制度，輔導業者種植無指定疫病蟲害種苗，以提昇種苗品質及

產業競爭力。防檢局除於 2000 年 5 月依據「植物防疫檢疫法」第 8 條及第 9 條規定，公告火鶴花爲實施特定疫病蟲害檢查之植物種類，實施強制性種苗檢查制度。另對於國內已存在之重要非檢疫病害，亦於 2002 年 3 月公告「種苗疫病蟲害驗證輔導要點」並於 2003 年 6 月修正，陸續訂定柑桔、蝴蝶蘭、文心蘭、綠竹、豇豆、馬鈴薯及甘藷等 7 種作物之種子種苗病毒驗證作業須知，積極推廣種苗驗證觀念。

爲持續落實推動驗證業務，2010 年 6 月規劃「落實推動種子種苗疫病蟲害驗證制度方案」，希勾勒出既符合市場需求並能有效提升作物品質之願景，改造現有制度使驗證方式呈現多元靈活且符合市場需求，另藉由增加業者參與誘因、辦理宣導或業者座談及新技術轉移的方式，積極輔導民間業者參與生產供應高品質種苗，協助民間團體或協 (學) 會建立疫病蟲害檢定驗證機構，並提高業者自主性管理產品之能力，政府單位則積極研究改進取樣方法及研發快速專一性高且成本低之病害檢定方式，提高檢定效率。

四、國際疫情資訊蒐集

防檢局將持續蒐集重要作物蟲媒病害之國際疫情資訊，包括水稻、洋香瓜、柑桔、葡萄、番茄等，並加強研析可能對國內農業生產造成之影響，評估適時啓動偵察調查機制 (目前針對水稻飛蝨類所媒介之病毒病害，業成立計畫進行偵察調查工作)，同時積極與國外植物保護機關與研究單位進行資訊交流。如：目前在 Plant Viruses Online 的網站上可以查到 45 種可以感染洋香瓜的植物病毒，而目前臺灣瓜類作物上被確認的病毒約有 10 種，所以針對已於國外發生，但尚未在國內發生之重要疫病害蟲，預先擬定風險管理管理計畫，並進行防治演練，以因應未來可能發生之突發狀況與危機處理。

五、法規防治

我國自 2002 年加入世界貿易組織 (WTO) 後，有害生物隨著農產品傳入我國的風險有增無減，蟲媒病害循此途徑入侵發生之機會大增，根據「中華民國輸入植物或植物產品檢疫規定」 (2011 年 3 月 31 日修正版) (http://www.baphiq.gov.tw/public/Data/141214355471.pdf) 的內容，屬於「甲、禁止輸入之植物或植物產品」所列之蟲媒植物病原原核生物計有 5 種，分別爲非洲型柑桔黃龍病 (*Candidatus* Liberibacter africanus Garnier *et al.*)、柑桔矮化病 (*Spiroplasma citri*）、甘蔗叢蘗病菌質體 (Sugarcane grassy shoot phytoplasma)、椰子致死性黃化病菌質體 (Lethal yellowing phytoplasmas)、*Xylella fastidiosa*。這類蟲媒病原自原產地進入一個新的地區，其病原菌能否在新地區成功立足，需視病原、寄主植物、媒介昆蟲與環境等條件而定。也因如此，國際上對於重要檢疫病害及其媒介昆蟲所採取的規範，主要是採用法規防治，包括禁止輸入帶病植株、並有條件檢測該病害及其媒介昆蟲的寄主植物，並針對此類病害及其媒介昆蟲進行風險評估，以作爲擬定植物檢疫法規與法規防治的參考依據，此時專家也有必要評估該類檢疫病害可否透過本土昆蟲執行病原的傳播，以作爲新病害入侵之

後，取得掌握撲滅或有效降低新病害流行危害的先機 (石, 2010)。

結 語

爲推動健全動植物防疫檢疫體系之政策，達成健全農業防疫檢疫網之目標，同時以符合法制規範，有效達到防疫檢疫目的，爰參酌國際規範及國內外相關法規修正植物防疫檢疫法，將相關植物防疫重點工作修訂納入法規中，如有關植物防疫監測及防治，修訂相關法條包括：中央主管機關得公告管制有害生物種類，並授權植物防疫檢疫機關得先行採取防疫之緊急措施；又主管機關必要時得公告該些有害生物防治計畫綱要，直轄市及縣(市)主管機關應依據計畫綱要，擬訂地區防治計畫及編列年度預算，使中央及地方主管機關明確分工，有效防治國內之有害生物疫情，並落實推動相關防治措施，確保農民權益及農產品收益 (張等, 2010a)。

另目前植物病原及其蟲媒的研究在國內尚缺乏整合之機制，但在美國，不論是大學教授或農業研究部門，只要是蟲媒植物病害，均有學者從事傳播方法、傳播能力及兩者相互作用等的研究。國內重要蟲媒病害不少，但多著重於找出病原菌及蟲媒種類，對兩者及兩者間作用機制之基礎研究則相當缺乏，仍有許多的研究空間可以發揮，期望國內學者能重視此領域的研究，共同組成團隊進行研究與技術開發，以提升國內蟲媒病害之研究 (黃, 2010)。另爲因應蟲媒病害的發生，防檢局業研擬相關植物疫情管理措施，除加強開發有效防治技術，以解決防治技術缺口外，並鑑於「防範未然」是作物病害防治的基本觀念，在監測預警方面，期望在作物病害尚未大發生前，即將田間疫情資訊迅速傳送農民參考應用，以爭取病害防治管理時間。未來將積極推動健全植物保護體系，建構安全、合適與有效蟲害管理策略，並落實病害共同防治及輔導栽種健康種苗，依據病害發生種類並配合氣候條件，適時協助農民採取適當、有效的防治措施，降低作物受害程度，並確保農產品品質及產量。

誌 謝

本文繕寫期間，承蒙防檢局植物防疫組同仁及農業試驗所應用動物組石憲宗博士提供相關資料，致上無限謝忱。

引用文獻

古德業。2003。永續管理植物保護成果與衝擊。1-22頁。植物保護管理永續發展研討會專刊。356頁。

石憲宗。2010。認識農作物重要害蟲－可傳播重要作物病害之媒介葉蟬。臺灣昆蟲通訊 2010 (6)：1-2。

郭克忠、陳保良、劉天成、蔡偉皇。2008。節能減碳下植物防疫的方向與展望。1-12頁。節能減碳與作物病害管理研討會專刊。206頁。

張瑞璋、邱安隆、徐孟豪、顏辰鳳。2010a。重大作物病害之防治策略及未來展望。1-20頁。近年來我國重大作物病害之發生及其診斷、監測與防治研討會。239頁。

張瑞璋、陳保良、邱安隆。2010b。台灣檬果蟲害現況分析及防治策略。1-10頁。檬果產銷暨蟲害管理研討會專刊。107頁。

張清安。2008。作物健康種苗在病害管理上之回顧與展望。61-86頁。節能減碳與作物病害管理研討會。206頁。

黃莉欣。2010。植物蟲媒病害及其蟲媒研究簡介。行政院農委會農業藥物毒物試驗所技術專刊 158: 1-11。

蔡偉皇。2009。台南地區洋香瓜病毒病害及其防治。動植物防疫檢疫局季刊 21: 18-20。

Policy on the management of insect-borne plant diseases

Ruey-Jang Chang[1], An-Long Chiou[1], Pao-Liang Chen[1], Wei-Huang Tsai[1*]

[1] Bureau of Animal and Plant Health Inspection and Quarantine, Council of Agriculture, Executive Yuan

[*] Corresponding author, e-mail: tsaiwh@mail.baphiq.gov.tw

Abstract

In recent years, Crop diseases vectored by the insects have gradually become serious in Taiwan. We found that the causing organisms spread via this mechanism were viruses and bacteria mainly, with small proportions of fungi, nematodes and other micro-organisms. Insects which carrying these pathogens are mostly belonged to the group of small insects, such as thrips, aphids, whiteflies and leafhoppers. They shared common characteristics including short generation, strong hiding and flying ability, and easily produced resistant offsprings against pesticides. Taiwan is located between the subtropical and tropical regions, where inhabit a great number of insect vectors characterized being very active and fecund, under such complicated and difficult circumstance, farmers are forced to face both the threat of the diseases and their vectors, when the insect vector is not the major pest of the crop, farmers always ignore the existence of the vectors, hence the insect-borne diseases prevail in certain local areas. For example, currently the local outbreaks of muskmelon virus diseases, citrus huanglongbing, and tomato spotted wilt disease had increased the costs of pest control and the risks on crop production, and even impacted the local agriculture industry. To deal with the issue on the control of major insect-borne diseases, BAPHIQ conduct the management programs including plant pests and diseases monitoring, task assignment, IPM technology development, farmers training and demonstration symposium, seed or seedling disease certification, collection of information on international epidemic situations, and regulations control etc., to assist farmers in crop production, and to strengthen insect-borne disease control system. The efforts of quarantine and plant protection measures should be integrated to tackle the problems. In the future, we should not only base on the existing of foundation and results to shape the plant protection policies that conform to the international trend and standards, but also strengthen the gathering of international epidemic information to timely amend related regulations for implementation of agricultural security. Finally, the sound and complete plant protection system will be established. By thoughtfully planning the priority of policy for management of crop diseases, ongoing improving the problems of epidemic prevention measures and non-stop upgrade of related disease control technology, the goal will be achieved for better ensuring the sustainable development of agriculture and security of domestic agricultural production environment as well as the food safety and the consumer health.

Key words: plant protection policy, plant disease, insect vector.

Important plant diseases, a review of the causal fastidious prokaryotes and their insect vectors*

Chung-Jan Chang[1,4**], Hsien-Tzung Shih[2], Chiou-Chu Su[3], Fuh-Jyh Jan[4]

[1] Department of Plant Pathology, University of Georgia, Griffin, GA, USA
[2] Applied Zoology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Taichung, Taiwan
[3] Pesticide Application Division, Taiwan Agricultural Chemicals and Toxic Substances Research Institute, Council of Agriculture, Taichung, Taiwan
[4] Department of Plant Pathology, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan
* To be published in Plant Pathology Bulletin 20: xxx-xxx (2011)
** Corresponding author, e-mail: cchang1@uga.edu

Abstract

Phytopathogenic fastidious prokaryotes are plant pathogens that either resist to grow in any available bacterial culture mediums or require specific or enriched mediums to grow. They include *Xylella fastidiosa, Leifsonia xyli* subsp. *xyli, L. xyli* subsp. *cynodontis* and *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* and *C. michiganensis* subsp. *michiganensis* that reside in xylem and spiroplasmas, phytoplasmas and *Candidatus* Liberibacter spp. that reside in phloem. *X. fastidiosa* is the causal agent of more than 19 diseases; among them Pierce's disease of grape and citrus variegated chlorosis are two major maladies that cause serious economic loss on wine and citrus juice industry. *L. xyli* subsp. *xyli,* and *L. xyli* subsp. *cynodontis* are associated with ratoon stunting disease of sugarcane and Bermuda grass stunting respectively and *C. michiganensis* subsp. *sepedonicus* with bacterial ring rot in potato and *C. michiganensis* subsp. *michiganensis* with bacterial tomato canker. Spiroplasmas are the causal agents of citrus stubborn, corn stunt and periwinkle diseases. Phytoplasmas are associated with more than 500 diseases worldwide. *Ca*. Liberibacter spp., are the causal agents of citrus Huanglongbing or citrus greening, zebra chip disease of potato and others. General characteristics of *X. fastidiosa* including its scientific classification, host ranges and diseases incited, and cell shape and size; specific and enriched media for *X. fastidiosa*; symptoms induced by *X. fastidiosa*; geographic distribution of *X. fastidiosa*; and the insect vectors that transmit the diseases will be discussed. Pierce's disease is the limiting factor for the establishment of wine industry for the entire southeastern United States from Texas to the Carolinas along the gulf coast of Mexico. Recent introduction of the glassy-winged sharpshooter leafhoppers in California has threatened the winery industry of California. The significance of the isolation of *X. fastidiosa* from the tissues with citrus variegated chlorosis symptoms followed by the identification of the major insect vectors will be addressed. The biological characteristics of the three phloem-limited prokaryotes, namely spiroplasmas, phytoplasmas and *Ca*. Liberibacter spp., and the diseases they

induce and their vectors will be discussed. Most plant pathogenic prokaryotes do not require an active insect vector to spread them from plants to plants, while *X. fastidiosa*, *Ralstonia syzygii*, *Ca*. Liberibacter spp., phytoplasmas, and spiroplasmas do. To date among all known vectors, the single most successful insects vectoring the diseases belong to the Order of Hemiptera. In the past three decades, researches have emphatically addressed the biology, ecology, vector relationships and epidemiology of crop diseases caused by plant pathogenic prokaryotes which were well documented in numerous review articles. Herein a review of the significance of the insect vectors of fastidious prokaryotes that cause important plant diseases is to be addressed.

Keywords: fastidious prokaryotes, *Xylella fastidiosa*, *Ca.* Liberibacter spp., spiroplasmas, phytoplasmas, Huanglongbing, Hemiptera, glassy-winged sharpshooter, Pierce's disease of grape, citrus variegated chlorosis

Introduction

In the Kingdom Prokaryotae, there are two taxa, bacteria and mollicutes. Bacteria have cell membrane and cell wall while mollicutes have only cell membrane and lack cell wall. Mollicutes, including spiroplasma, phytoplasma, mycoplasma and acholeplasma, are the smallest and simplest known free-living and self-replicating forms of life. They are bacteria of Gram-positive origin, as indicated by their 16S rRNA (Trachtenberg, 2005). Most bacteria do not require insect vectors for their dissemination except a few; e.g., *Erwinia tracheiphila* transmitted by cucumber beetles (Agrios, 2005) and *Ralstonia syzygii* by *Hindola striata* (Balfas *et al.*, 1991). However, in the fastidious prokaryote group which includes *Xylella fastidiosa*, *Candidatus* Liberibacter spp., and spiroplasmas and phytoplasmas, insect vectors are essentially required for their dissemination (Markham, 1983; Redak *et al.*, 2004; Weintraub & Beanland, 2006). *X. fastidiosa* and *Ca*. Liberibacter spp. possess cell walls belonging in bacteria taxon whereas spiroplasmas and phytoplasmas lack cell walls belonging in mollicutes taxon. In *E. tracheiphila*-induced bacterial wilt of cucumber case, the bacterium survives by overwintering in the intestines of striped cucumber beetles (*Acalymma vittata*) and spotted cucumber beetles (*Diabrotica undecimpunctata*), in which it hibernates (Agrios, 2005). Today, however, we are going to focus on the vectors that associated with the above-mentioned fastidious prokaryotes. To date among all known vectors, the single most successful insects vectoring the diseases belong to the Order of Hemiptera. In the past three decades, researches have emphatically addressed the biology, ecology, vector relationships and epidemiology of crop diseases caused by plant pathogenic prokaryotes which were well documented in the following review articles: Purcell (1982), Markham (1983), Purcell and Hopkins (1996), Redak *et al.* (2004), Almeida *et al.* (2005), Weintraub and Beanland (2006), Weintraub (2007), Janse and Obradovic (2010), and Gottwald (2010).

Fastidious prokaryotes are those that either resist to grow in any available mediums, such as phytoplasmas, *Ca*. Liberibacter spp., and *Ca*. Phlomobacter fragariae or those that require specific and enriched mediums, such as spiroplasmas, *X. fastidiosa*, *Leifsonia xyli* subsp. *xyli*, *L. xyli* subsp. *cynodontis* and *Clavibacter*

michiganensis subsp. *sepedonicus*. Based on the inhabitant, *X. fastidiosa*, *Leifsonia* spp. and *C. michiganensis* subsp. *sepedonicus* are xylem-inhabiting while spiroplasmas, phytoplasmas, *Ca*. Liberibacter spp., and *Ca.* Phlomobacter fragariae are phloem-inhabiting prokaryotes.

Herein a review of insect vectors of plant pathogenic fastidious prokaryotes is provided by the authors. The information of insect vectors of phytopathogenic fastidious prokaryotes by taxonomic groups and their geographic distribution is shown in Table 1.

Xylem-limited bacterial plant pathogens and their insect vectors

According to Wells *et al.* (1987), *X. fastidiosa* possesses the following characteristics: predominately single, straight rods with a cell size ranges from 0.25-0.35 µm in width and 0.9-3.5 µm in length; two types of colonies: convex to pulvinate smooth opalescent with entire margins or umbonate rough with finely undulated margins; Gram-negative, nonmotile, aflagellate, oxidase negative, catalase positive, and strict aerobic; nonfermentative, nonhalophilic, nonpigmented; and require a specific and enriched medium such as CS20, PD2, PW, or BCYE for growth. The optimal temperature for growth is 26-28C, whereas the optimal pH is 6.5-6.9. The habitat is the xylem of plant tissue. The G+C content of the DNA is 51.0 to 52.5 mol% determined by thermal denaturation or 52.0 to 53.1 mol% determined by bouyant density.

Ever since Wells *et al.* (1987) named then xylem-limited bacterium as *X. fastidiosa* in 1987, *X. fastidiosa* has been reclassified into five subspecies according to their differences in genetic makeup, host range, physiology, and biochemistry. They are *X. fastidiosa* subsp. *fastidiosa* for strains of grape, almond, alfalfa, and maple, *X. fastidiosa* subsp. *multiplex* for strains of peach, plum, almond, elm, sycamore, and pigeon grape, *X. fastidiosa* subsp. *pauca* for strains of citrus (Schaad *et al.*, 2004), *X. fastidiosa* subsp. *sandyi* for strains of oleander, daylily, jacaranda, and magnolia (Schuenzel *et al.*, 2005), and *X. fastidiosa* subsp. *tashke* for strains of *Chitalpa tashkentensis*, a common ornamental landscape plant (Randall *et al.*, 2009).

X. fastidiosa requires specific and enriched mediums to grow as compared to other bacteria (Chang & Walker, 1988). There are seven complex components that are used in the listed four media: soy peptone, tryptone, phytone peptone, trypticase peptone, soytone or phytone, and yeast extract; either one or two complex components for each medium; two iron sources for the medium either hemin chloride or soluble ferric pyrophosphate; four inorganic salts: ammonium phosphate, potassium phosphate (monobasic or dibasic) or magnesium sulfate; three amino acids and two Krebs cycle intermediates: citrate or succinate; and three detoxifying components: potato starch, activated charcoal, or bovine serum albumin. Rippled cell walls seemed to be unique for all *X. fastidiosa* cells regardless of the origin of its host plants. That was one of the reasons why they were first described as “rickettsia-like bacteria”. However, a thorough study of Pierce’s disease (PD) strain by Huang *et al.* (1986) disclosed that in addition to the predominated rippled cell walls there are intermediate cell walls and smooth cell walls.

Based on the diseases reported around the world, *X. fastidiosa* causes diseases in the America Continents including North and South America. In the US, they occur in the whole southeastern States along the Gulf coast of Mexico, and California. In the southern hemisphere, the diseases occur in Brazil, Argentina, and Paraguay. In Asia, the pear leaf scorch was reported in Taiwan. And very soon report on PD of grapes in Taiwan will be emerged (Personal communication). In Europe there was a report describing PD of grapes in Kosovo, former Yugoslavia which sits in southern Europe. The *X. fastidiosa*-induced diseases seemed to occur in the region between 15-45 degrees latitude of both north and south of Equator. It is interesting to note that Taiwan sits at the Tropic of Cancer where the pear leaf scorch disease and PD occur and that San Paulo, Brazil sits at the Tropic of Capricorn where the severe citrus variegated chlorosis (CVC) (Chang *et al.*, 1993, Hartung *et al.*, 1994) and coffee leaf scorch occur. Kosovo sits at about 45 degree North of Equator.

There are 19 diseases that were confirmed to be caused by *X. fastidiosa*. They are Pierce's disease of grape, alfalfa dwarf, phony peach (PP), plum leaf scald, CVC, periwinkle wilt, ragweed stunt, and leaf scorch of almond, elm, mulberry, oak, sycamore, pecan, maple, oleander, blueberry, coffee, pear, and *Chitalpa*. (Chang & Walker, 1988; Chang *et al.*, 1993; Hartung *et al.*, 1994; Sherald *et al.*, 2001; Schaad *et al.*, 2004; Schuenzel *et al.*, 2005; Hernandez-Martinez *et al.*, 2007; Randall *et al.*, 2009). The common symptoms induced by *X. fastidiosa* include marginal leaf necrosis, scorching or scalding of leaves, early leaf fall, dieback of branches, and wilting to death. The specific symptoms are petioles remain attached to the canes after the leaves fall off and green islands formed along the stem both occurring in PD whereas darker green leaves and extreme shortening of the terminal growth occur in PP disease.

Symptoms of Pierce's disease of grapes usually start with marginal leaf necrosis to chlorosis; normally a yellow band would form between the green and necrotic tissues for white wine grapes and a purple band for red wine grapes. The following unique symptoms will follow: petioles remain attached to the canes, green island formation due to irregular maturing process of barks, dried up raisins, and eventual dying and dead vines occurs in 2-4 years after initial infection in GA (Fig. 1). In the Order Hemiptera, four main sharpshooters in the Family Cicadellidae, e. g. glassy-winged sharpshooter, blue-green sharpshooter, red-headed sharpshooter, and green sharpshooter were the important vectors for PD *X. fastidiosa*.

CVC causes severe leaf chlorosis between veins when young trees are infected. Symptomatic leaves exhibit brown gummy lesions on the lower side in corresponding to the chlorotic yellow areas on the upper leaf surface. Reduced growth vigor and abnormal flowering and fruit set occur in infected trees. Fruits from affected trees are often small and hard with high acidity which is not fitting for juice making and no fresh market value (Chang *et al.*, 1993; Hartung *et al.*, 1994). The major vectors for citrus variegated chlorosis in Brazil are *Acrogonia terminalis, Dilobopterus costalimai, Oncometopia fascialis,* and *Oncometopia nigricans*.

Symptoms of bacterial leaf scorch of blueberry exhibit marginal leaf necrosis or burn which is very distinct and is surrounded by a dark line of demarcation between green and dead tissue (Fig. 2A). Prior to complete plant death, all leaves fall off, and the

remaining stems display a yellow "skeletal" appearance (Fig. 2B) which was why "yellow stem" or "yellow twig" was often used to describe the disorder before "bacterial leaf scorch" was formally designated for the *X. fastidiosa*-caused disease (Chang *et al.*, 2009). Insect vectors for the blueberry bacterial leaf scorch disease are under investigation in Georgia and the glassy-winged sharpshooter leafhopper, *Homalodisca vitripennis (*formerly *H. coagulata),* is likely an important suspect.

Two xylem-limited bacteria (XLB), *Xylella fastidiosa* and *Ralstonia syzygii,* are transmitted by xylem sap-feeding insects (Balfas *et al.*, 1991; Purcell & Hopkins, 1996; Redak *et al.*, 2004; Almeida *et al.*, 2005). In general, the sucking insects that feed predominantly on xylem sap are potential vectors of XLB (Purcell & Hopkins, 1996). Among them, the confirmed vectors that transmit *X. fastidiosa* possess the transmission characteristics including the lack of a latent period, no transstadial or transovarial transmission of the bacterium, the pathogens remain persistently in adults, and the bacterium can multiply in the foregut (Janse and Obradovic, 2010).

Redak *et al.* (2004) pointed out that 39 species of Cicadellinae and 5 species of Cercopoidea have been confirmed as vectors of different strains of *X. fastidiosa* in controlled experiments from the United States to Brazil. In the United States, the glassy-winged sharpshooter leafhopper, *Homalodisca vitripennis* (Germar) [synonym of *Homalodisca coagulata* (Say) (Takiya *et al.*, 2006)], is the most economically important species among vectors of *X. fastidiosa*, because it provides more efficient transmission than other vectors in primitive or new distribution (e.g. in California). Furthermore, the machaerotid species *Hindola striata* is the only known vector of *Rolstonia syzygii* (formerly *Pseudomonas syzygii*) from Indonesia (Balfas *et al.*, 1991). In fact, the number of vector species for different strains of *X. fastidiosa* will increase considerably in the future as a result of agricultural diversification in Latin America and additional research on *X. fastidiosa*-induced diseases and vectors in that region (Redak *et al.*, 2004) or in Asia. Recently, DNA fragments of pear leaf scorch (PLS) strains of *X. fastidiosa* were identified in *Kolla paulula* (Walker) (Cicadellidae: Cicadellinae) captured in fields of central Taiwan (Su and Shih, unpublished data) via polymerase chain reaction (PCR) using *X. fastidiosa*-specific primers. The mechanism of PLS transmission and fulfillment of Koch's postulates using *K. paulula* are currently under investigation in the authors' laboratories.

In summary, the majority of xylem-feeding insect vectors belong to the members of Cicadellinae, and the remainder species are from Aphrophoridae, Clastopteridae and Machaerotidae (Table 1; Balfas *et al.*, 1991; Redak *et al.*, 2004). Moreover, some taxa (Evacanthinae, Mileewaninae, and Cicadide) are supposed to be the potential vectors based on the phylogenetic hypothesis (Redak *et al.*, 2004).

Phloem-limited plant pathogenic prokaryotes and their insect vectors

In Mollicutes, the cell wall-less and phloem-limited prokaryotes, there are two major plant pathogens: spiroplasmas and phytoplasmas. Spiroplasmas are cells with helical forms during logarithmetic growth. Most spriroplasmas are cultivable in enriched mediums that contain supplemented sterols and other ingredients (Chang, 1989). They are facultative anaerobic or microaerophilic. They are associated with three

plant diseases: citrus stubborn and horseradish brittle root disease by *Spiroplasma citri*, corn stunt disease by *S. kunkelii*, and periwinkle disease by *S. phoeniceum*. Phytoplasmas have been associated with more than 500 plant diseases worldwide ever since the historical discovery by Doi *et al.* (1967) of then mycoplasma-like organisms (MLO) found in the pholem elements of plants infected with mulberry dwarf, potato witches'-broom, aster yellows, or paulownia witches'-broom (McCoy *et al.*, 1989, Weintraub and Beanland, 2006). Phytoplasmas are still noncultivable even though they have been classified into 30 group-subgroups and four undetermined entities based on 16S rDNA RFLP grouping (http://plantpathology.ba.ars.usda.gov/pclass/pclass_taxonomy.html).

Spiroplasma kunkelii causes characteristic small chlorotic stripes at the leaf bases of new leaves 25-30 days after initial inoculation. The chlorotic stripes fused together and extended toward the leaf tips with green spots and stripes exhibited on a chlorotic background. The infected plants are stunted due to much shorter internodes and a proliferation of secondary shoots in leaf axils; thus named corn stunt disease. Corn stunt disease is transmitted by *Dalbulus maidis* (DeLong and Wolcott) and *D. elimatus* (Ball) in nature whereas it can be transmitted experimentally by *Graminella nigrifrons*(Forbes), *G. sonora* (Ball), *Stirellus bicolor* (Van Duzee), *Exitianus exitiosus* (Uhler),and *Euscelidius variegatus* (Kirsch.) (Tsai and Falk, 2009).

Walnut witches'-broom disease was reported by Chang *et al.* (1986) after the MLO particles were observed in the sieve cells of the symptomatic tissues collected from Griffin, GA. Abnormal proliferation of numerous small shoots with lighter green color which resembled the shape of a broom became evident in mid-July. The insect vector for this disease is still unknown even though DNA fragments were isolated and cloned from diseased walnut and later DNA probes were developed to monitor the seasonal occurrence of walnut witches'-broom MLO (Chen *et al.*, 1992a; Chen *et al.*, 1992b). There are other economically important phytoplasma diseases, such as lethal yellowing of coconuts in Jamaica and lime witches'-broom in Oman and many others in Taiwan which will be presented in depth by Dr. T.-H. Hung in this symposium.

Now let's look at the other phloem-limited bacteria, the causal agent of Huanglongbing (HLB) and other diseases, *Ca.* Liberibacter spp. Striking symptoms of "yellow shoots" were often seen in sweet orange of young and high density orchard (1000 trees per hectare). Two most characteristic symptoms of HLB are leaves with blotchy mottle and fruits with small size and colour inversion (Bove, 2006). HLB are transmitted by psyllid vectors. In Asia, Southeast Asia, and Oceania, *Diaphorina citri* is the vector, *Ca*. L. asiaticus is the HLB agent, and both are heat tolerant (Asian form of HLB). In Africa and Madagascar island, *Trioza erytreae* is the vector, *Ca*. L. africanus is the HLB agent, and both are heat-sensitive (African form of HLB) (Bove, 2006). Another HLB agent, *Ca.* L. americanus, was found in 2004 in Sao Paulo State, Brazil (Teixeira *et al.*, 2005) and 2005 in Florida, USA (Irey *et al.*, 2006) and its vector is *D. citri*. A thorough and in-depth report on HLB and its vectors will be presented by Dr. C.-H. Tsai in this symposium.

The phloem-limited plant pathogenic prokaryotes, phytoplasmas, spiroplasmas, and the pathogens (*Cadidatus* Liberibacter spp.) of Huanglongbing (HLB), are transmitted to plants by phloem-feeding insects belonging to the Order of Hemiptera.

According to the taxonomic groups for the above-mentioned 3 pathogens, the interaction between insect vectors and spiroplasmas or *Ca.* Liberibacter spp. is relatively more specific than the vector-phytoplasmas relationship. For example, the known vectors for HLB pathogen belong to the family Psyllidae only (Hung *et al.*, 2004; Gottwald, 2010) and the vectors *Circulifer tenellus* and *Dalbulus maidis* belonging entirely to the subfamily Deltocephalinae of Cicadellidae disseminate 2 plant pathogenic spiroplasmas, *S. citri* and *S. kunkelii* respectively (Markham, 1983).

On the contrary, there are 92 known species belonging to 8 families in Hemiptera that are confirmed vectors of phytoplasmas. They respectively belong to each of the following family Cicadellidae (71 species), Cixiidae (6 species), Delphacidae (4 species), Derbidae (1 species), Flatidae (1 species), Psyllidae (7 species), Pentatomidae (1 species), and Tingidae (1 species) (Weintraub and Beanland, 2006). Furthermore, the above-mentioned 71 species in Cicadellidae that vector phytoplasmas could be categorized according to the following 10 subfamilies, Cicadellinae (1 species: *Graphocephala confluens* (Uhler)), Typhlocybinae (3 species: *Alebroides nigroscutellatus* (Distant), *Amrasca devastans* (Distant), and *Empoasca papayae* Oman), Agalliinae (1 species), Aphrodinae (2 species), Coelidiinae (1 species), Iassinae (1 species), Idiocerinae (2 species), Macropsinae (5 species), Scarinae (1 species), and Deltocephalinae (54 species) (see Table 1 by Weintraub and Beanland, 2006). In general, members of the first two subfamilies, Cicadellinae and Typhlocybinae, are known xylem feeders and mesophyll feeders, respectively; that means members of the two taxa can not transmit the phloem-limited pathogens. As to why they were reportedly able to transmit phytoplasmas which are strictly phloem inhabitants raises an intriguing but controversial issue that warrants further investigation.

References

Agrios, G. N. 2005. Plant Pathology, Fifth Edi. Elsevier Academic Press. Pages 639-642.

Almeida, R. P. P., M. J. Blua, J. R. S. Lopes, and A. H. Purcell. 2005. Vector transmission of *Xylella fastidiosa*: Applying fundamental knowledge to generate disease management strategies. Annu. Entomol. Soc. Am. 98:775-786.

Balfas, R., C. J. Lomer, T. L. Mardiningsih, and E. M. Adhi. 1991. Acquisition of *Pseudomonas syzygii* by *Hindola striata* (Homoptera: Machaerotidae). Indones. J. Crop Sci. 6:65-72.

Bove, J. M. 2006. Huanglongbing: a destructive, newly-emerging century-old disease of citrus. J. Plant Pathol. 88:7-37.

Chang, C. J., L. Impson, and B. Cunfer. 1986. Walnut witches'-broom disease in Georgia. Phytopathology 76:1139 (abstr).

Chang, C. J. and J. T. Walker. 1988. Bacterial leaf scorch of northern red oak: isolation, cultivation, and pathogenicity of a xylem-limited bacterium. Plant Dis. 72:730-733.

Chang, C. J. 1989. Nutrition and cultivation of spiroplasmas. *In* "The Mycoplasmas, Vol. 5" (R. F. Whitcomb and J. G. Tully, eds.), pp. 201-241. Academic Press, New York.

Chang, C. J., M. Garnier, L. Zreik, V. Rossetti, and J. M. Bove. 1993. Culture and

serological detection of the xylem-limited bacterium causing citrus variegated chlorosis and its identification as a strain of *Xylella fastidiosa*. Curr. Microbiol. 27:137-142.

Chang, C. J., R. Donaldson, P. M. Brennen, G. Krewer, and B. Boland. 2009. Bacterial leaf scorch, a new blueberry disease caused by *Xylella fastidiosa*. HortScience 44:413-417.

Chen, J., C. J. Chang, R. L. Jarret, and N. Gawel. 1992a. Isolation and cloning of DNA fragments from a mycoplasma-like organism associated with walnut witches'-broom disease. Phytopathology 82:306-309.

Chen, J., C. J. Chang, and R. L. Jarret. 1992b. DNA probes as molecular markers to monitor the seasonal occurrence of walnut witches'-broom mycoplasmalike organism. Plant Dis. 76:1116-1119.

Doi, Y., M. Teranaka, K. Yora, and H. Asuyama. 1967. Mycoplasma- or PLT group-like microorganisms found in the pholem elements of plants infected with mulberry dwarf, potato witches'-broom, aster yellows, or paulownia witches'-broom. Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 33:259-266.

Gottwald, T. R. 2010. Current epidemiological understanding of citrus huanglongbing. Annu. Rev. Phytopathol. 48:119-139.

Grylls, N. E., C. J. Waterford, B. K. Filshie, and C. D. Beaton. 1974. Electron microscopy of rugose leaf curl virus in red clover, *Trifolium pretense* and in the leafhopper vector *Austroagallia torrida*. J. Gen. Virol. 23:179-183.

Hartung, J. S., J. Beretta, R. H. Brlansky, J. Spisso, and R. F. Lee. 1994. Citrus variegated chlorosis bacterium: axenic culture, pathogenicity, and serological relationships with other strains of *Xylella fastidiosa*. Phytopathology 84:591-597.

Hernandez-Martinez, R., K. A. de la Cerda, H. S. Costa, D. A. Cooksey, and F. P. Wong. 2007. Phylogenetic relationships of *Xylella fastidiosa* strains isolated from ornamentals in southern California. Phytopathology 97:857-864.

Huang, P.-Y., R. D. Milholland, and M. E. Daykin. 1986. Structural and morphological changes associated with the Pierce's disease bacterium in bunch and muscadine grape tissues. Phytopathology 76:1232-1238.

Hung, T. H., S. C. Hung, C. N. Chen, M. H. Hsu, and H. J. Su. 2004. Detection by PCR of *Candidatus Liberibacter asiaticus*, the bacterium causing citrus huanglongbing in vector psyllids: application to the study of vector-pathogen relationships. Plant Pathol. 53:96-102.

Irey, M. S., T. Gast, and T. R. Gottwald. 2006. Comparison of visual assessment and polymerase chain reaction assay testing to estimate the incidence of the hunaglongbing pathogen in commercial Florida citrus. Proc. Fla. State Hort. Soc. 119:89-93.

Janse, J. D., and A. Obradovic. 2010. *Xylella fastidiosa*: its biology, diagnosis, control and risks. J. Plant Pathol. 92 (1, Supplement): S1.35-48.

Markham, P. G. 1983. Spiroplasmas in Leafhoppers: A Review. Jale J. Biol. Med. 56:745-751.

Mc Coy, R. E., A. Caudwell, C. J. Chang, T. A. Chen, L. N. Chiykowski, M. T. Cousin, J. L. Dale, G. T. N. deLeeuw, D. A. Golino, K. J. Hackettt, B. C. Kirkpatrick, R.

Marwitz, H. Petzold, R. C. Sinha, M. Suguira, R. F. Whitcomb, I. L. Yang, B. M. Zhu, and E. Seemuller. (1989): Plant diseases associated with mycoplasma-like organisms. *In* "The Mycoplasmas, Vol. 5" (R. F. Whitcomb and J. G. Tully, eds.), pp. 545-640. Academic Press, New York.

Purcell, A. H. 1982. Insect vectors relationships with prokaryotic plant pathogens. Annu. Rev. Phytopathol. 20:397-417.

Purcell, A. H., and D. L. Hopkins. 1996. Fastidious xylem-limited bacterial plant pathogens. Annu. Rev. Phytopathol. 34:131-151.

Randall, J. J., N. P. Goldberg, J. D. Kemp, M. Radionenko, J. M. French, M. W. Olsen, and S. F. Hanson. 2009. Genetic Analysis of a Novel *Xylella fastidiosa* Subspecies Found in the Southwestern United States**.** Appl. Environ. Microbiol. 75:5631-5638.

Redak, R. A., A. H. Purcell, J. R. S. Lopes, M. J. Blua, R. F. Mizell, III, and P. C. Anderson. 2004. The biology of xylem fluid-feeding insect vctors of Xylella fastidiosa and their relation to disease epidemiology. Annu. Rev. Entomol. 49:243-70.

Schaad, N. W., E. Postnikova, G. Lacy, M'Barek Fatmi, and C. J. Chang. 2004. *Xylella fastidiosa* subspecies: *X. fastidiosa* subsp *piercei*, subsp. nov., *X. fastidiosa* subsp. *multiplex* subsp. nov., and *X. fastidiosa* subsp. *pauca* subsp. nov. System. Appl. Microbiol. 27:290-300.

Schuenzel, E. L., M. Scally, R. Southammer, and L. Nunney. 2005. A multigene phylogenetic study of clonal diversity and divergence in North American strains of the plant pathogen *Xylella fastidiosa*. Appl. Environ. Microbiol. 71:3832-3839.

Severin, H. H. P. 1950. Spittle-insect vectors of Pierce's disease virus. II. Life history and virus transmission. Hilgardia 19:357-382.

Sherald, J. L. 2001. *Xylella fastidiosa*, a bacterial pathogen of landscape trees. Pages 191-202 in Shade Tree Wilt Diseases, edited by C. L. Ash. American Phytopathological Society, St. Paul, MN.

Takiya, D. M., S. H. McKamey, and R. R. Cavichioli. 2006. Validity of *Homalodisca* and of *H. vitripennis* as the name for glassy-winged sharpshooter (Hemiptera: Cicadellidae: Cicadellinae). Ann. Entomol. Soc. Am. 99:648-655.

Teixeira, Diva do Carmo, C. Saillard, S. Eveillard, J. L. Danet, Paulo Ina cio da Costa, A. J. Ayres, and J. Bove. 2005. '*Candidatus* Liberibacter americanus', associated with citrus huanglongbing (greening disease) in Sa˜o Paulo State, Brazil. International Journal of systematic and Evolutionary Microbiology 55:1857-1862.

Trachtenberg, S. 2005. Mollicutes. Curr. Biol. 15:R483-484.

Tsai, J. H., and B. W. Falk. November 20, 2009. Insect vectors and their pathogens of maize in the tropics. In: E. B. Radcliffe,W. D. Hutchison & R. E. Cancelado [eds.], Radcliffe's IPM World Textbook, URL: http://ipmworld.umn.edu, University of Minnesota, St. Paul, MN.

Weintraub, P. G. 2007. Insect vectors of phytoplasmas and their control - an update. Bull. Insectol. 60:169-173.

Weintraub, P. G., and L. Beanland. 2006. Insect vectors of phytoplasmas. Annu. Rev. Entomol. 51:91-111.

Wells, J. M., B. C. Raju, H.-Y. Hung, W. G. Weisburg, L. Mandelco-Paul, and D. J.

Brenner. 1987. *Xylella fastidiosa* gen. nov., sp. nov: Gram-Negative, Xylem-Limited, Fastidious Plant Bacteria Related to *Xanthomonas* spp. Int. J. Syst. Bacteriol. 37:136-143.

國際重要作物原核生物性病害及其媒介昆蟲之研究回顧*

張宗仁 [1,4**] 石憲宗 [2] 蘇秋竹 [3] 詹富智 [4]

[1] 美國喬治亞大學植物病理學系
[2] 行政院農業委員會農業試驗所應用動物組
[3] 行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所應用化學組
[4] 國立中興大學植物病理學系
* To be published in Plant Pathology Bulletin 20:xxx-xxx (2011)
** Corresponding author, e-mail: cchang1@uga.edu

摘 要

植物病原微生物中有一群營養苛求原核生物，此群病原細菌無法在一般細菌性培養基生長或者需在含特殊成份或豐富複合配方之培養基才能生長，專一棲息於植物導管組織內之細菌包括 *Xylella fastidiosa*, *Leifsonia xyli* subsp. *xyli*, *L. xyli* subsp. *cynodontis*, *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus*, 及 *C. michiganensis* subsp. *michiganensis*，另專一棲息於植物篩管組織內細菌包括螺旋菌質體 (spiroplasmas)、植物菌質體 (phytoplasmas) 及 *Candidatus* Liberibacter spp.。*X. fastidiosa* 曾經引起超過 19 個重要病害之致病因子，其中葡萄皮爾斯病 (Pierce's disease of grape) 及柑橘斑駁黃化病 (citrus variegated chlorosis) 為二個主要典型病例，曾經造成葡萄釀酒及柑橘果汁加工產業重大損失；*L. xyli* subsp. *xyli*, and *L. xyli* subsp. *cynodontis* 分別被認為引起甘蔗宿根矮化病 (ratoon stunting disease of sugarcane) 及百慕達草矮化症 (Bermuda grass stunting) 相關致病因子，*C. michiganensis* subsp. *sepedonicus* 會引起馬鈴薯細菌性輪腐病 (bacterial ring rot in potato) 及 *C. michiganensis* subsp. *michiganensis* 會引起番茄細菌性腫瘤病 (bacterial tomato canker)；螺旋菌質體被認為會引起柑橘停滯生長 (citrus stubborn)、玉米矮化 (corn stunt) 及日日春 (periwinkle) 等病害之致病因子；植物菌植體在全世界被認為會引起超過 500 個病害之相關致病因子；*Ca*. Liberibacter spp. 被認為會引起柑橘黃龍病 (citrus Huanglongbing) 或別名柑橘綠化症 (citrus greening)、馬鈴薯薯片斑紋病 (zebra chip disease of potato) 及其他被影射病害致病因子。本文將論述 *X. fastidiosa* 一般特性包括科學化分類屬性、寄主範圍、如何誘導病害發生、細菌型態及大小、特殊培養基需求性、病徵學、世界地理分佈及媒介昆蟲傳播病害等；美國東南地區墨西哥灣沿岸地區從德克薩斯到卡羅萊納等州建立龐大葡萄釀酒產業體系，葡萄皮爾斯病一直是該地區葡萄產業之主要限制因子，近年來加州地區人為引入媒介昆蟲褐透翅尖頭葉蟬 (glassy-winged sharpshooter leafhoppers) 已造成該地區葡萄釀酒產業極大衝擊；將會討論從罹病柑橘斑駁黃化病病徵組織分離 *X. fastidiosa* 病原生物學意義進一步鑑定主要媒介昆蟲。3 種侷限篩管原核生物, 螺旋菌質體、植物菌質體及 *Ca*. Liberibacter spp.

之生物學特性、如何引起病害發生及媒介昆蟲將一併討論。大部份植物病原原核生物並不需要藉由活躍媒介昆蟲從事植物與植物間病原擴散， 但是 *X. fastidiosa*, *Ralstonia syzygii*, *Ca*. Liberibacter spp., 螺旋菌質體及植物菌質體等需要藉由媒介昆蟲傳播病原至健康植物。目前所有已知媒介昆蟲中大部份能成功傳播病害皆隸屬於半翅目 (Hemiptera) 昆蟲，過去 30 年許多研究學者已在不少回顧專題完整紀錄植物病原原核生物引起作物病害並詳細論述其生物學、生態學、媒介昆蟲相關性與流行病學，本文僅就營養苛求原核生物之媒介昆蟲引起重要植物病害之意義作回顧論述。

關鍵詞：營養苛求原核生物, 半翅目昆蟲, 柑橘黃龍病, 螺旋菌質體、植物菌質體, 褐透翅尖頭葉蟬, 葡萄皮爾斯病, 柑橘斑駁黃化病, 及 *Candidatus* Liberibacter spp.

Table 1. Reported insect vectors of phytopathogenic fastidious prokaryotes by taxonomic groups and their geographic distribution

Vectors	Pathogen					Distribution	Reference
	Xylem-inhabiting		Phloem-inhabiting				
	Xylella fastidiosa	*Ralstonia syzygii*	*Candidatus* Liberibacter spp.	Phytoplasmas	Spiroplasmas		
Cicadomorpha							
Cercopoidea							
Aphrophoridae	+	-	-	-	-	North America	Severin (1950)
Clastopteridae	+	-	-	-	-	North America	Severin (1950)
Machaerotidae	-	+	-	-	-	Indonesia	Balfas *et al*. (1991)
Membracoidea							
Cicadellidae							
Cicadellinae	+ [1]	-	-	+ [2]	-	America [1]; North America [2]	Redak *et al*. (2004) [1]; Weintraub and Beanland (2006) [2]
Agalliinae	-	-	-	+ [3, 4]	-	Australia [3]; Austria [4]	Grylls *et al*. (1974) [3]; Riedle-Bauer *et al*. (2008) [4]
Aphrodinae	-	-	-	+	-	Europe	Weintraub and Beanland (2006)
Coelidiinae	-	-	-	+	-	India	Weintraub and Beanland (2006)
Deltocephalinae	-	-	-	+ [5]	+ [6]	Worldwide	Weintraub and Beanland (2006) [5]; Markham (1983) [6]
Iassinae	-	-	-	+	-	Australia	Weintraub and Beanland (2006)
Idiocerinae	-	-	-	+	-	Europe	Weintraub and Beanland (2006)
Macropsinae	-	-	-	+	-	Europe; North America	Weintraub and Beanland (2006)
Scarinae	-	-	-	+	-	North America	Weintraub and Beanland (2006)
Typhlocybinae	-	-	-	+ [7]	-	Southeast Asia [7]; Caribbean region [7]	Weintraub and Beanland (2006) [7]

Vectors	Pathogen					Distribution	Reference
	Xylem-inhabiting		Phloem-inhabiting				
	Xylella fastidiosa	*Ralstonia syzygii*	*Candidatus* Liberibacter spp.	Phytoplasmas	Spiroplasmas		
Fulgoromorpha							
Fulgoroidea							
Cixiidae	-	-	-	+	-	Europe; Subtropical America; New Zealand	Weintraub and Beanland (2006)
Delphacidae	-	-	-	+	-	Papua New Guinea; Europe; Asia; Cuba	Weintraub and Beanland (2006)
Derbidae	-	-	-	+	-	Southeast Asia	Weintraub and Beanland (2006)
Flatidae	-	-	-	+	-	Europe	Weintraub and Beanland (2006)
Sternorrhyncha							
Psylloidea							
Psyllidae	-	-	+ [8]	+ [9]	-	Asia [8]; Africa [8, 9]; Ameria [8, 9]; Europe [9];	Hung *et al.* (2004) [8]; Gottwald (2010) [8]; Weintraub and Beanland (2006) [9]
Heteroptera							
Pentatomidae	-	-	-	+	-	East Asia	Weintraub and Beanland (2006)
Tingidae	-	-	-	+	-	Southeast Asia	Weintraub and Beanland (2006)

Figure 1. Symptoms of Pierce's disease of grapes: A close-up view of marginal leaf necrosis (A), petioles remained attached to the canes after leaves fall (B), green island (C) formed due to irregular maturing process of barks, dried up raisins (D), and eventual dying and dead vines (E) in 2-4 years after infection in GA. (Photo by Chung-Jan Chang)

Figure 2. Symptoms of bacterial leaf scorch of blueberry. Marginal leaf necrosis or burn (A) which is very distinct and is surrounded by a dark line of demarcation between green and dead tissue. Prior to complete plant death, all leaves fall off, and the remaining stems display a yellow "skeletal" appearance (B) which was why "yellow stem" or "yellow twig" was often used to describe the disorder before "bacterial leaf scorch" was designated for this disease. (Photo by P. M. Brennen, University of Georgia)

台灣葡萄皮爾斯病及媒介昆蟲研究現況

蘇秋竹 [1,3] 石憲宗 [2,4] 林映秀 [1] 蘇文瀛 [1] 高清文 [1]

[1] 行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所應用化學組
[2] 行政院農業委員會農業試驗所應用動物組
[3] 病害通訊作者 e-mail: auba@tactri.gov.tw
[4] 蟲害通訊作者 e-mail: htshih@tari.gov.tw

摘 要

葡萄皮爾斯病 (Pierce's disease, PD) 為國際檢疫病害，是由棲息導管細菌 *Xylella fastidiosa* 所引起，台灣往昔並無紀錄。行政院農業委員會動植物防疫檢疫局 (Bureau of Animal and Plant Health Inspection and Quarantine, 以下簡稱防檢局 (BAPHIQ)) 在 2002 年針對國內是否存有 PD，啟動偵測調查 (detection survey)，歷年來透過分離技術及 PCR 檢測確認及剷除的 PD 罹病株約有 12023 棵，另確認雙輪瓜 (*Diplocyclos palmatus* (L.) C. Jeffrey)、漢氏山葡萄 (*Ampelopsis brevipedunculata* (Maxim.) Trautv var. *hancei* (Planch.) Render)、葎草 (*Humulus scandens* (Lour.) Merr.) 及白匏仔 (*Mallotus paniculatus* (Lam.) Muell. -Arg.) 也是 PD 的寄主植物；在媒介昆蟲的研究部分，透過柯霍氏法則確認白邊大葉蟬 (*Kolla paulula* (Walker)) 為台灣 PD 的媒介昆蟲，歷年來的野外調查則未發現國外已記錄可傳播 PD 的媒介昆蟲。分析國內各地 PD 葡萄菌株、媒介昆蟲白邊大葉蟬體內菌株與 4 種雜草寄主植物體內菌株，進行 16S rRNA 與 16-23S rRNA 區間序列基因解序，並與 *X. fastidiosa* 不同植物寄主菌株比對，寄主包含台灣的梨樹與國外的葡萄、桑椹、李、核桃、無花果及夾竹桃等，再利用最大似然法 (Maximum Likelihood) 親緣樹狀圖的分析，結果顯示各地區植物體內的 *X. fastidiosa* 菌株，可分為五個菌群：第一群為葡萄與桑椹菌群，第二群為咖啡與柑橘菌群，第三群為胡桃、李、桃及無花果菌群，第四群為夾竹桃菌群，第五群為梨菌群；而台灣的葡萄、雜草寄主與蟲媒體內的 PD 菌系，應該屬於第一群，且兩者的基因序列相似度達 99-100%，幾可確認具有同源性。未來台灣應積極防杜國外已知蟲媒藉由種苗植物入侵，並持續偵測調查 PD 在台灣的寄主植物範圍與本土性的媒介昆蟲，以探討兩者在 PD 流行病學所扮演的角色。

關鍵詞：葡萄皮爾斯病，棲息導管細菌，雜草寄主，媒介昆蟲

前 言

台灣葡萄栽植主要集中在中台灣 4 個地區，據農業年報統計栽植面積達 3,200 餘公頃，分布在苗栗縣、台中市、彰化縣、南投縣及其他零星地區，生產之葡萄主要供鮮食用，如巨峰、義大利、蜜紅與無子喜樂；少部分作為釀酒材料，

如金香、黑后與貝利 A 等品種。由於鮮食葡萄面對進口水果具有較高的競爭力，其栽植面積有逐漸增加之趨勢，為台灣高產值的重要栽經濟果樹之一。

傳統上，葡萄理論栽培緯度在南北緯 34° 到 49° 之間，台灣緯度較不適宜栽植，但因栽培與管理技術的改進，發展出一年二收或一年三收的生產模式 (林, 2004)。台灣葡萄的生產模式可大致區分為平地葡萄園及坡地葡萄園，在彰化地區之平地葡萄園由於地下水位較高，一般多以自根苗配合條畦密植，除了一部分利用簡易設施提早產期者外，一般多在 6-7 月及 12 月分別採收夏果及冬果。在苗栗、台中及南投地區之坡地葡萄園則以栽植嫁接苗且採寬行疏植為主，其產期除了南投縣信義鄉部分葡萄園以一年三收技術生產晚春果及秋果之外，一般多在 7-8 月及 12-2 月間分別採收夏果及冬果。

葡萄皮爾斯病 (Pierce’s disease；簡稱 PD) 由棲息導管細菌 *Xylella fastidiosa* (Wells *et al.*, 1987) 所引起，病原細菌侵入葡萄後，能快速增殖建立其族群，會系統性移動並分布於寄主維管束組織之導管內 (Hill & Purcell, 1995; Purcell, 1997)，依栽培品系感病性之差異，危害之葡萄 1 至 5 年後即會死亡 (Smith *et al.*, 1997; Varela *et al.*, 2000)，PD 會影響葡萄之正常生育，其形成之病徵包括葉緣壞疽焦枯、提早落葉、新枝不正常老熟、樹勢衰落、延遲萌芽、植株矮化及枝條枯死，目前罹病之植株仍無有效治療方法 (Blua *et al.*, 1999)，PD 在美國東南地區之葡萄栽植區為一風土病 (endemic)，一直是該地區葡萄產業之主要限制因子，影響釀酒工業之葡萄栽培及生產甚鉅，亦影響墨西哥、中美洲及美國西南地區部分栽植區之葡萄生產並造成嚴重損失 (Hopkins, 2001)。PD 在加州許多葡萄栽植區域之葡萄園每年皆會發生，在 Napa、Sonoma 及 Mendocina 等郡之商業化栽植之葡萄園皆嚴重發生，一般推測該區域 PD 之流行發生與其蟲媒族群之建立有密切關係 (Purcell, 2000)。PD 亦會影響畜牧之產業，PD 之病原會引起苜蓿矮化病，造成苜蓿之嚴重減產 (Hewitt *et al.*, 1946)。本文為首次正式論述台灣葡萄皮爾斯病與媒介昆蟲研究現況，期能提供國內葡萄生產業者參考，減緩本病對國內葡萄產業之衝擊。

葡萄皮爾斯病發生現況

PD 為國際檢疫病害，目前全世界有紀錄受 PD 危害的區域主要集中在美洲地區，在北美州包括美國阿拉巴馬、加州、佛羅里達、喬治亞、密蘇里、路易斯安納、北卡羅來納、南卡羅來納和德克薩斯等州 (Smith *et al.*, 1997; Varela *et al.*, 2000)；中美洲包括哥斯達黎加 (Aguilar *et al.*, 2008; Smith *et al.*, 1997) 和委內瑞拉 (Jimenez, 1985)；南美洲包括阿根廷 (Nome *et al.*, 1992) 和秘魯 (Purcell, 1997)；1998 年南斯拉夫 Kosova 地區的葡萄園出現 PD 危害，為歐洲發生 PD 危害的首例 (Berisha *et al.*, 1998)；至於亞洲地區，2000 年在中國大陸的陝西省禮泉、乾縣及蒲城等地區發生 PD 疫情 (楚, 2001)。PD 於 1892 年首次發現在美國加州南部地區，爾後被命名加州葡萄病 (Califonia vine disease)，至今一直是美國東南地區葡萄產區之風土病；PD 在加州曾藉由人為攜入而發生，本病可能廣泛分佈於加州地區而未被發現？主要受限於該區域之 PD 寄主範圍仍未完全被發現，且

各郡間進一步檢測是否有 PD 危害之計畫，仍未完全實行 (Hopkins, 2001)。

自 2002 年防檢局針對國內是否存在 PD 啓動偵測調查 (detection survey)，調查區域涵蓋南投縣、台中市、彰化縣及苗栗縣等 4 縣市之葡萄產區，南投縣包括信義鄉、水里鄉、集集鎮、竹山鎮、草屯鎮及埔里；台中市包括豐原區、石岡區、東勢區、后里區、外埔區、新社區；苗栗縣包括卓蘭鎮及通霄鎮；彰化縣包括二林鎮、埔心鄉、大村鄉及溪湖鎮；歷年來鄉鎮市葡萄產區幾已全面性調查完畢，所有調查之果園防檢局疫情資訊中心皆已建立完整之 GIS 圖檔；自 91 年葡萄夏果期至 99 年葡萄冬果採收期前上述之葡萄產區累計共調查 7388 個果園數，面積共達約 4142 公頃，歷年來發現 10 個鄉鎮葡萄產區共 311 個罹病園共達 12023 株 PD 罹病株，包括草屯鎮平林里 23 個罹病園 167 株罹病株、竹山鎮社寮里 36 個罹病園 1116 株罹病株、集集鎮 1 個罹病園 80 株罹病株、豐原區 2 個罹病園 3 株罹病株、東勢區明正里 3 個罹病園共 21 株罹病株、新社區白毛台及復興村 20 個罹病園 368 株罹病株、外埔區 40 個罹病園 992 株罹病株、后里區 150 個罹病園 6920 株罹病株、卓蘭鎮苗豐里及內灣里 9 個罹病園 876 株罹病株及通宵鎮 27 個罹病園 1480 株罹病株 (表 1)。

表 1.　91-99 年各鄉鎮葡萄產區監測到葡萄皮爾斯病發生之罹病株及罹病果園數
Table 1. Survey results of Pierce’s disease incidence: total numbers of diseased plants and orchards in various counties conducted from 2002 to 2010

縣市	鄉鎮	罹病果園數/罹病株																		
		91 夏果	91 冬果	92 夏果	92 冬果	93 夏果	93 冬果	94 夏果	94 冬果	95 夏果	95 冬果	96 夏果	96 冬果	97 夏果	97 冬果	98 夏果	98 冬果	99 夏果	99 冬果	罹病果園數/罹病株
南投縣	草屯鎮	1/1	3/9	5/7	6/17	4/16	2/2	3/7	6/8	3/11	3/5	5/6	0	3/19	2/3	9/25	3/15	7/13	3/3	23/167
	竹山鎮	0	1/1	1/5	1/1	1/4	0	1/3	0	0	0	4/30	2/5	4/52	1/1	29/693	9/60	20/221	4/40	36/1,116
	集集鎮	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1/65	1/15	0	0/0	1/80
台中市	豐原區					1/1	0	1/1	0	0	0	0	0	1/1	0	0	0	0	0/0	2/3
	東勢區			1/7	1/2	1/1	0	2/5	0	0	1/1	0	0	1/1	0	0	0	1/4	0/0	3/21
	新社區		1/2	2/5	3/9	0	0	2/2	1/11	4/25	1/1	3/7	0	7/53	3/11	13/119	4/11	14/106	2/6	20/368
	外埔區					13/128		8/84	1/3	7/102	3/28	7/41		12/301		12/160		16/145		40/992
	后里區					21/187		42/1341		38/576	7/71	43/501		68/1649		96/1,732		57/863		150/6,920
苗栗縣	卓蘭鎮				3/4	2/5		2/167	3/121	2/93	2/67	1/20	2/10	6/231	4/22	6/100	0	3/32	2/4	9/876
	通霄鎮					9/246		18/599		12/107		9/113		12/131		14/150		9/81	11/53	27/1,480
合計		1/1	5/12	9/24	14/33	52/588	2/2	79/2,209	11/143	66/914	17/173	72/718	44/15	114/2,438	10/37	180/3,044	17/101	127/1,465	22/106	311/12,023

綜合中部 4 縣市各鄉鎮區葡萄產區地毯式偵測調查分析，有 PD 發生鄉鎮區之葡萄產區，罹病園分布地理特性可歸納爲二：(一) 位於丘陵地形的栽植園：典型的代表爲通宵鎮、后里區及外埔區的葡萄產區；(二) 緊鄰於山溝或河川地的栽植園：典型代表爲卓蘭鎮苗豐里及內灣里、新社區白毛台及復興村、東勢區明正里、草屯鎮平林里及竹山鎮社寮里，由地理特性顯示罹病園多位於產區的邊緣地帶或獨立栽植園，也許罹病園鄰近地區存在許多未開發雜林及周遭植物相豐

富，有利 PD 病原菌及本土媒介昆蟲的殘存，上述 8 個鄉鎮葡萄產區爲 PD 發生的高度風險區；南投縣信義鄉、水里鄉及台中市石岡區等葡萄產區，過去已全面性偵測的結果顯示尚無 PD 發生，不過由於這類產區葡萄栽植園的鄰近地形具有上述產區 PD 發生的相似地理特性，因此列爲 PD 可能發生的中度風險區，仍需隨時偵測防範 PD 入侵；彰化縣各鄉鎮葡萄產區的栽植面積約 1800 公頃，佔全台第一，歷年來偵測調查及台中區農業改良場偵測通報，該區域葡萄產區迄今未發現 PD 發生，顯見該區域爲 PD 可能發生的低度風險區，推測可能原因包括：(一) 該區域平地葡萄產區盛行集約密植栽培，植物相單純，不利 PD 病原菌及可能蟲媒的殘存；(二) 該區域地下水位高，葡萄栽植園約 7 年即全面更新，不利 PD 罹病株的殘存；(三) 該區域栽植葡萄農民田間衛生執行徹底，園內有植株異常立即更新。

PD 田間調查及觀察顯示栽培的釀酒或鮮食葡萄品系皆能罹病，10 個葡萄產區其中 5 個主要 PD 發生疫區歷年來累計罹病園率分別爲草屯爲 18%、竹山爲 52%、外埔爲 56%、后里爲 85% 及通霄爲 74% (圖 1)。由上述資料顯示 3 個釀酒葡萄品系栽植區通霄鎮、后里區及外埔區爲 PD 嚴重發生及分布區域，但鮮食葡萄品系集中栽植區之疫區 PD 可有效管控且僅零星發生，但發現疫區周遭植被大面積破壞導致鄰近新增葡萄罹病園同時園內感染 PD 葡萄植株明顯增加，竹山鎮社寮里葡萄產區爲典型例子，推論周遭大範圍植被內潛藏廢棄之葡萄園可能有帶有 PD 病菌葡萄植株及雜草寄主，一旦遭人爲破壞，帶菌之蟲媒被迫遷移直鄰近葡萄園，另偶亦發現坡地單獨葡萄栽植園一旦 PD 被引入立足且周圍爲雜林地，罹病園病害明顯擴散蔓延；歷年各季在 10 個鄉鎮葡萄產區偵測及監測到 PD 罹病株，地方縣政府已配合防檢局緊急防疫措施，執行罹病株砍除事宜。

葡萄皮爾病寄主植物偵測調查

引起 PD 之 *X. fastidiosa* 菌株之寄主範圍相當廣，在加州地區曾被記錄超過 28 科涵蓋 94 種類之植物爲其寄主，而其中許多寄主植物不會顯現病徵 (Freitag, 1951; Hill & Purcell, 1995; Purcell & Saunders, 1999b; Purcell, 1997; Raju *et al.*, 1983)。許多寄主植物爲天然寄主，例如長葉楞 (*Acacia longifolia*)、通艾 (*Artemesia vulgaris*)、野燕麥 (*Avena fatua*)、臭藜 (*Chenopodium ambrodioides*)、印度白蠟 (*Fuchsia magellanica*)、錐花八仙 (*Hydrangea paniculota*)、義大利黑麥草 (*Lolium multiflorum*)、*Marjorana hortensis*、*Poa annua*, 加州薔薇 (*Rosa California*)、迷迭香 (*Rosemary officinalis*)、葡萄葉懸鈎 (*Rubus vitifolius*)、柳樹屬植物 (*Salix* spp.)、鍬草屬植物 (*Veronica* spp.) 和加州野葡萄 (*Vitis califonica*)等，許多其他之寄主植物利用蟲媒室內試驗已被證實能感染 PD 之病原菌株 (Freitag, 1951; Purcell & Saunders, 1999b; Raju *et al.*, 1983)。目前 *X. fastidiosa* 之寄主範圍及來自不同寄主菌株之交互接種試驗之研究，仍未完全清楚 (Simth *et al.*, 1997)，僅些許文獻之資

訊可資參考。例如，來自葡萄之 *X. fastidiosa* 菌株不能感染桃 (peach)，同時來自桃之 *X. fastidiosa* 之菌株不能感染葡萄；來自於感染 *Acer*、*Morus*、 *Platanus* 及 *Ulmus* spp. 等植物之 *X. fastidiosa* 菌株無法傳播至葡萄 (Smith *et al.*, 1997)；來自夾竹桃葉緣焦枯病 (oleander leaf scorch) 之 *X. fastidiosa* 菌株無法感染葡萄、桃、黑莓 (blackberry) 或苜蓿 (alfalfa) (Purecll, 1997)；來自杏仁葉緣焦枯病 (almond leaf scorch) 之 *X. fastidiosa* 菌株可傳播至葡萄，相對地，來自之 *X. fastidiosa* 菌株亦可傳播至杏仁 (Purcell, 1980b)。事實上，引起 PD 之 *X. fastidiosa* 菌株在實際上發生之寄主範圍應該有許多寄主植物仍未被偵測證實？一般認爲有些非作物寄主 (non-crop hosts) 可能爲引起 PD 之主要感染源，有潛能傳播病原至葡萄園，其在流行病學扮演之角色仍不甚清楚？(Hill & Purcell, 1995)。

國內葡萄產區引起 PD 之 *X. fastidiosa* 菌株之寄主範圍偵測調查，自 92 年 9 月於東勢鎮明正里葡萄產區 PD 罹病園 (編號東勢-097) 鄰近邊坡地帶首次確認雜草雙輪瓜植物爲 PD 之其他寄主植物後，陸續於 8 個鄉鎮 PD 發生葡萄產區標定罹病園進行其他寄主植物調查及採樣，總共標定 45 個罹病園包括南投縣草屯鎮 4 個、竹山鎮 3 個、台中市東勢區 2 個、后里區 16 個、外埔區 8 個、新社區 5 個、苗栗縣卓蘭鎮 4 個及通宵鎮 3 個；迄今採集除葡萄以外共 238 種植物，總樣品數高達 3,889 個 (表 2)，分布於 72 科、183 屬植物。採集樣品分別進行 PD 病原菌分離及 PCR 檢測，僅其中 4 種類雜草植物，分別爲葎草 (*Humulus scandens* (Lour.) Merr.) (圖 2 A)、漢氏山葡萄 (*Ampelopsis brevipedunculata* (Maxim.) Trautv var. *hancei* (Planch.) Render) (圖 2B)、雙輪瓜 (*Diplocyclos palmatus* (L.) C. Jeffrey) (圖 2C)及白匏仔 (*Mallotus paniculatus* (Lam.) Muell. -Arg.) (圖 2D)；雙輪瓜累計 81 個樣品有 5 個爲正反應，分別在台中市外埔區、東勢區、新社區與苗栗縣卓蘭鎮各得到 2、1、1 及 1 個樣品；漢氏山葡萄累計 120 個樣品有 7 個爲正反應，分別在台中市后里區、外埔區、南投縣竹山鎮及苗栗縣卓蘭鎮各得到 1、4、1 及 1 個樣品；葎草累計 61 個樣品有 9 個爲正反應，分別在苗栗縣卓蘭鎮、台中市后里區及外埔區各得到 1、1 及 7 個樣品；白匏仔截至目前爲止累計 51 個樣品僅在台中市新社區得到一個正反應的樣本，歷年來總計共 22 個樣品經 PCR 檢測爲正反應且成功分離到病原菌 (表 3)；分離自 4 種寄主雜草之 PD 病原菌經人工接種至健康葡萄植株，已確認會在植株內繁殖且會造成典型葉緣焦枯病徵；進一步分析感染 *X. fastidiosa* 寄主雜草的葡萄罹病園內罹病植株分布情況，發現部分罹病園罹病植株分布與鄰近感染 *X. fastidiosa* 雜草寄主似乎有地緣相關性，此一現象間接證實國內葡萄 PD 病害於田間可能藉由本土性蟲媒自然傳播病害。

表 2. 92-99 年葡萄皮爾斯病標定罹病園鄰近調查之植物種類及樣品數

Table 2. Survey results of other possible host plants for *Xylella fastidiosa* Pierce's disease (PD) strains: total numbers of various plant species collected from the proximity of PD-confirmed grape orchards and sample sizes conducted from 2003 to 2010

鄉鎮	標定罹病園數	植物種類/樣品數(年度)								
		92	93	94	95	96	97	98	99	92~99 合計
南投縣										
草屯鎮	4	44/76	72/210	39/52	11/12	9/12	16/26	15/28	ND	72/416
竹山鎮	3	21/27	56/85	ND	ND	7/34	15/30	12/27	9/24	57/227
台中縣										
東勢區	2	69/131	106/290	41/132	ND	29/112	ND	ND	ND	106/665
后里區	16	ND	30/73	31/109	70/245	45/159	37/98	11/19	25/78	68/781
外埔區	8	ND	44/85	20/22	44/75	21/63	22/78	ND	ND	44/323
新社區	5	62/112	94/284	ND	54/138	35/100	14/69	12/20	10/12	61/735
苗栗縣										
卓蘭鎮	4	ND	76/151	39/52	41/149	23/33	27/79	ND	ND	58/464
通霄鎮	3	ND	35/56	36/83	42/79	17/34	17/26	ND	ND	42/278
合計		131/346	205/1,234	92/450	127/698	98/547	78/406	35/94	35/114	238/3,889

ND：標定罹病園未進行調查。

表 3. 92-99 年葡萄皮爾斯病標定罹病園鄰近四種雜草寄主植物採集檢測情形

Table 3. Detection of *Xylella fastidiosa* Pierce's disease (PD) strains in four alternative hosts collected from the proximity of PD-confirmed grape orchards conducted from 2003 to 2010

縣市鄉鎮	偵測罹病園數	雜草名稱*(正反應數/樣品數)			
		葎 草	漢式山葡萄	雙輪瓜	白匏仔
南投縣					
草屯鎮	4	0/3	0/5	0/10	0/3
竹山鎮	2	0/4	1/26	ND	ND
台中市					
東勢區	2	0/8	ND	1/2	ND
新社區	4	0/1	0/28	1/24	1/25
后里區	7	1/19	1/14	0/23	0/13
外埔區	5	7/23	4/28	2/12	ND
苗栗縣					
卓蘭鎮	4	1/2	1/19	1/10	0/8
通霄鎮	1	0/1	ND	ND	0/2
合 計		9/61	7/120	5/81	1/51

ND: 罹病園鄰近未採集到該雜草；*：PCR 及病原菌分離為正反應之樣品數。

美國與台灣對媒介昆蟲的研究現況

自從西元 1892 年在美國加洲發現葡萄皮爾斯病以來，PD 的分布區域也擴散至中南美洲、歐洲、中國與台灣，但 120 年以來所有與 PD 媒介昆蟲傳病驗

證有關的研究，幾乎都在美國完成，但至今也僅有少數的大葉蟬與沫蟬被證實爲 PD 的媒介昆蟲。台灣在數年之間已自台灣本土所產的 3 種大葉蟬體中偵測出 PD 的分子序列，其中白邊大葉蟬 (*Kolla paulula*) 已完成柯霍氏法則傳病驗，確認爲可傳播 PD 的本土性大葉蟬種類 (Shih & Su, unpublished data)。茲將美國與台灣之研究現況，以及兩國可以互相交流的課題簡述如下：

一、美國研究現況

在美國已被證實可傳播 PD 的媒介昆蟲，包括半翅目 (Hemiptera)、葉蟬科 (Cicadellidae)、大葉蟬亞科 (Cicadellinae) 與沫蟬總科 (Cercopoidea)、尖胸沫蟬科 (Aphrophoridae) 的物種，較具傳病效率的包括褐透翅尖頭葉蟬 (Glassy-winged sharpshooter, *Homalodisca vitripennis* (Germar)) (簡稱 GWSS) (圖 3)、藍綠尖頭葉蟬 (Bluegreen sharpshooter, *Graphocephala atropunctata* (Signoret)) (圖 4)、綠尖頭葉蟬 (Green sharpshooter, *Draeculacephala minerva* (Ball)) (圖 5)、紅首尖頭葉蟬 (Red-headed sharpshooter, *Xyphon fulgida* (Nottingham)) 與黃頭長沫蟬 (Meadow spittlebug, *Philaenus spumarius* (Linnaeus)) (圖 6)。其餘透過室內傳病驗證確認可傳播 PD 的媒介昆蟲尚有 *Amphigonalia severini* DeLong, *Helochara delta* Oman, *Paragonia confusa* Oman 與 *Friscanus friscanus* (Ball) 等 4 種大葉蟬亞科昆蟲；*Aphrophora angulata* Ball 與 *A. permutata* Uhler 等 2 種尖胸沫蟬亞科昆蟲與 1 種鉤沫蟬科 (Clastopteridae) 的 *Clastoptera brunnea* Ball (Redak *et al.*, 2004)。

褐透翅尖頭葉蟬 (GWSS) 爲傳播 PD 最具效力的媒介昆蟲，且被確認可傳播其他寄主之 *X. fastidiosa* 病原菌株，使寄主罹病，包括杏仁葉緣焦枯病、桃矮小病 (phony peach disease)、李葉緣燒枯病 (plum leaf scald)、柑桔斑駁黃化病 (citrus variegated chlorosis, CVC) 和榆樹 (elm)、楓樹 (maple) 等植物病害 (Blua *et al.*, 1999; Hopkins, 1989)。從蟲媒生物學及行爲學觀點而言，GWSS 有許多特性有利其在葡萄園傳播 PD，包括：(1) 本種成蟲相對於其他 PD 的媒介昆蟲而言，具有極佳的飛行能力，自罹病葡萄植株獲菌之後，可長距離的飛行，直接飛入健康園區的內部 (飛行能力較短者，僅能從健康園區外圍慢慢入侵)；(2) GWSS 爲多食性的葉蟬，已紀錄的寄主植物超過 100 種以上 (Hoddle *et al.*, 2003; Redak *et al.*, 2004)，但眞正影響其營養需求的關鍵養分卻爲導管中的特定胺基酸 (如 glutamine 與 asparagine) 與碳水化合物，且成蟲與若蟲利用植物養分的種類與比例，也有不同程度的差異 (Redak *et al.*, 2004)；若成蟲尋找植物前已獲得 PD，在成蟲尋找適合自己養份的寄主植物過程，同時也進行病害的傳播；(3) GWSS 成蟲越冬後仍具感染力，至翌春會感染健康寄主植物 (Purcell & Saunders, 1999b; Varela *et al.*, 2000)，與其他種類葉蟬比較，GWSS 喜歡在葡萄植株較低位置之枝條吸食，意味著 PD 病害之病原能靠近植株主幹組織建立及殘存，較不會被修剪方式而去除病原，這種方式造成園內慢性罹病株之建立，有利植株與植株間之病害傳播，促使病害快速成長；(4) GWSS 在冬天時期會在休眠狀態中之葡萄及核果類植物吸食 (Purcell, 2000)。

二、台灣研究現況

在台灣自從偵測出 PD 以來，作者等在全國各地之葡萄產區調查木質部取食習性的大葉蟬亞科與沫蟬總科昆蟲，結果顯示台灣尚未發現國外 PD 的媒介昆蟲。另針對中部若干罹患 PD 的樣區進行具傳病潛力昆蟲之調查，累計發現 3 種沫蟬與 24 種葉蟬 (Shih *et al.*, 2004; Shih & Su, unpublished data) 爲各地葡萄產區之優勢種類 (在每一調查樣區，每兩週以動植物防疫檢疫局制訂的黃色黏蟲紙調查，平均每年所出現的同種昆蟲樣本超過 200 件標本者)，包括：尖胸沫蟬科 (Aphrophoridae) 3 種 (一點鏟頭沫蟬 (*Clovia puncta* (Walker))，嗜菊短頭脊沫蟬 (*Poophilus costalis* (Walker)) (圖 7D)、與金毛凸額脊沫蟬 (*Ariptyelus auropilosus* (Matsumura))；大葉蟬亞科 (Cicadellinae) 4 種 (白翅褐脈葉蟬 (*Cofana spectra* (Distant)), 白邊大葉蟬 (*Kolla paulula* (Walker) (圖 7A)、黑尾大葉蟬 (*Bothrogonia ferruginea* (Fabricius) (圖 7B)、縱脈斑大葉蟬 (*Anatkina horishana* (Matsunura)) (圖 7C)；角頂葉蟬亞科 (Deltocephalinae) 13 種 (*Tartessus* sp., *Balclutha laevis* (Melichar), *Balclutha saltuella* (Kirschbaum), *Balclutha incisa* (Matsumura), *Hishimonus* sp., *Nephotettix cintriceps* (Uhler), *Nephotettix nigropictus* (Stål), *Goniagnathus punctifer* (Walker), *Macrosteles fascifrons* Stal, *Macrosteles* sp., *Deltocephalus distinctus* Motschulsky, *Deltocephalus* sp., 與 *Yamatotettix* sp.)；葉蟬亞科 (Iassinae) 1 種 (*Batracomorphus* sp.)；緣脊葉蟬亞科 (Selenocephalinae) 1 種 (*Drabescus* sp.)；橫脊葉蟬亞科 (Evacanthinae) 2 種 (*Sophonia orientalis* (Matsumura) 與 *Nirvana placida* (Stål)；小葉蟬亞科 (Typhlocybinae) 3 種 (台灣頂斑小葉蟬 (*Empoascanara formosella* Dworakowska)、楚南氏二點頂斑小葉蟬 (*Empoascanara sonani* (Matsumura)) 及擬頂斑葉蟬 (*Kapsa* sp.))。

以上種類，可自野外獲得的蟲體之內，偵測到 PD 的分子序列者，包括白邊大葉蟬、黑尾大葉蟬與縱脈斑大葉蟬等 3 種，其中白邊大葉蟬已透過柯霍氏法則的傳病驗證程序，確認其爲台灣本土第一種可以傳播 PD 的大葉蟬。除此，嗜菊短頭脊沫蟬的成蟲，可在實驗室完成柯霍氏法則的傳病驗證，但仍無法自野外採獲的本種沫蟬體內偵測出 PD 的分子序列。

Shih *et al.* (2009) 針對白邊大葉蟬 (*Kolla paulula*) 進行族群密度調查、測試與確認寄主植物、分析飛行高度等系列研究，茲將重點簡列如下：(1) 近年來藥試所與農試所兩單位於南投縣竹山與草屯、台中市后里區與新社區等地，以黃色黏蟲紙監測與分析本種葉蟬全年的族群密度，發現本種葉蟬在各地罹病樣區的發生盛期約有 3 次，分別爲 2 月初至 4 月初、7 月初至 8 月底、10 月中旬至 12 月中旬，每次高峰維持約 2 個月，其中 2 月初至 4 月初之平均密度約爲另兩次高峰的 1 倍；(2) 在白毛台以不同吊掛高度 (1-5 m) 的黃色黏蟲紙誘集成蟲，分析白邊大葉蟬的飛行高度範圍，結果顯示本種葉蟬飛行高度以離地 1-2 m 爲主，3-5 m 相對較少；(3) 農試所從事本種葉蟬之寄主試驗，發現本種葉蟬可在小花蔓澤蘭、大白花鬼針、紫花霍香薊及鴨跖草等野外常見雜草上完成繼代發育，其中以小花蔓澤蘭與大白花鬼針草爲其最適寄主。農試所的研究結果也顯示，黑尾大葉蟬、縱脈斑大葉蟬與嗜菊短頭脊沫蟬的共通寄主，也包括大白花鬼針與鴨跖草。這些資料，都有助於擬定田間 PD 媒介昆蟲之防治措施。

三、台灣與美國可以合作的研究課題

美國因擁有 PD 這個本土病害，目前已成爲全球研究 PD 及其媒介昆蟲相互關係與防治管理研究的重鎮，可以提供台灣相當多的研究經驗。不過，美國對於 PD 媒介昆蟲的飼養研究，僅有 2 篇報告分別以大豆或豇豆飼養褐透翅尖頭葉蟬的研究，結果皆顯示這兩種植物並無法完全供應若蟲或成蟲發育所需之完整養分，對於提升雌蟲產卵能力與有效繼代的研究仍有進步的空間。

台灣發現 PD 以來，雖然不到 10 年，但 Shih *et al*. (unpublished data) 已成功發展出以液體養液培養大花咸豐草 (*Bidnes pilosa* var. *radiate*) 及白竹仔菜 (*Commelina diffusa* Burm f.) 等植物，並使白邊大葉蟬的若蟲與成蟲能在同種植物的飼養環境下，完成繼代飼育，培育傳病驗證與各類防治試驗所需的大量材料，此部分是台灣可與美國交流之處。

四、台灣的研究瓶頸

雖然葡萄並非我國的旗艦果樹，但 PD 儼然已成爲台灣葡萄生產之限制因子，過去數年，政府每年持續投入經費剷除感染 PD 的罹病株、支持 PD 與媒介昆蟲的監測以及教育宣導，使得本病在台灣的流行趨勢，得以有效受到管制。

但是，台灣的葡萄栽培方式、主要栽培種類、氣候因子與潛在媒介昆蟲種類等，與美國是處於完全不同的條件。當今，我國對於葡萄皮爾斯病的流行病學、媒介昆蟲之基礎生物學研究、病原與媒介昆蟲的中間寄主、病原與媒介昆蟲的相互關係等研究，因人力與物力的不足，使得不少研究項目的深度不足或甚至一片空白，其根本解決之道，包括籌組研究團隊與支持穩定的研究經費，以落實政府保障農友生產優質農產品的政策；同時，在台灣建立完整的 PD 及媒介昆蟲的研究根基，不僅可爲我國樹立木質部侷限導管細菌及媒介昆蟲的研究模式，更可作爲我國其他蟲媒病害的研究參考，如此才能提供農友有效與安全的 PD 及媒介昆蟲的整合管理技術。

國內葡萄皮爾病菌系鑑定及親緣關係

國內田野 PD 葡萄罹病株待其枝條葉片呈現典型系統性之葉緣焦枯病徵，將罹病枝條葉片之葉柄組織經 1% 次氯酸鈉溶液振盪消毒 10 分鐘，剪取中間部份之葉柄組織切碎溶於 1 ml 之 PD2 培養液，劃線於 PD2 平板上，置於 28℃ 之定溫箱培養觀察二星期後再挑取單一菌落進行更新培養，發現菌落爲邊緣完整之乳白色圓形突起，培養 12 天之菌落大小約 1 mm，本菌經陰染法電顯觀察測得其大小 (寬 × 長）爲 0.2 至 0.4 μm ×1-3 μm；罹病葉柄組織經固定、脱水、包埋程序後，進行超薄切片經電顯觀察顯示維管束組織中之部份導管含有桿狀細菌，該菌具有波浪狀特徵之細胞壁 (圖 8)；自罹病枝條分離之菌株以 *X. fastidiosa* 專一性引子對 RST31/RST33 (Minsavage *et al*., 1994)、272-1-int/272-2int (Pooler *et al*., 1995) 來進行 PCR 反應，結果顯示所分離之 8 個菌株皆可增幅出 733、500 bp 之專一性基因產物片段，且對照其他病原細菌及梨葉緣焦枯病菌則無此片段。同時又以 Agdia 廠商所生產的 Pathoscreen^R XF 之 ELISA Kit 進行測試，顯示

分離自葡萄罹病株之細菌菌株和國外葡萄皮爾斯病菌株有血清之相關性，對照其他病原細菌及梨葉緣焦枯病菌則無；人工接種試驗顯示分離自平林里之細菌菌株對葡萄具有病原性，測試之巨峰、金香、密紅及貝利 A 4 個栽培品系皆能罹病。

X. fastidiosa 病原菌寄主範圍廣，已被紀錄危害超過 100 個寄主植物 (Hopkins & Purcell, 2002)，利用交互接種試驗 (Hopkins & Adlerz, 1988; Hopkins, 1989)、培養特性 (Purcell & Hopkins, 1996)、DNA 同源性 (Mehta & Rosato, 2001)、限制片段多型性分析 (RFLPs) (Chen *et al.*, 1992; Hendson *et al.*, 2001)，及隨機增幅多型性核酸 PCR 分析 (RAPD-PCR) (Chen *et al.*, 2002; Hendson *et al.*, 2001; Pooler & Hartung, 1995; Qin *et al.*, 2001; Rosato *et al.*, 1998)，早期將 *X. fastidiosa* 區分爲 4 群，分別爲 PD 群、柑桔斑駁黃化病菌群，李葉緣燒枯病與桃矮小病菌群及夾竹桃菌群 (Hopkins & Purcell 2002; Purcell & Hopkins 1996)，目前在 *Xylella* 這一屬中仍然僅有 1 個種 *X. fastidiosa*，最近有些學者提出將 *X. fastidiosa* 區分 5 個副種 (subspecies) 分別爲 *fastidiosa, multiplex, pauca, sandyi,* 與 *tashke* (Hernandez-Martinez *et al.*, 2007; Randall *et al.*, 2009; Schaad *et al.*, 2004)，*Xyl. fastidiosa* subsp. *fastidiosa* 含有菌系寄主來源爲葡萄、杏仁、苜蓿及楓樹，*Xyl. fastidiosa* subsp. *Multiplex* 含有菌系寄主爲桃、李 (plum)、杏仁、榆樹 、無花果 (sycamore) 及葡萄 (pigeon grape)，, *Xyl. fastidiosa* subsp. *Pauca* 含有菌系寄主爲柑桔，*Xyl. fastidiosa* subsp. *sandyi* 含有菌系寄主爲夾竹桃、忘憂草 (daylily)、藍花楹 (jacaranda) 及木蘭花 (magnolia) (Hernandez-Martinez *et al.*, 2007)，*Xyl. fastidiosa* subsp. *tashke* 含有菌系寄主爲一園藝景觀植物 (*Chitalpa tashkentensis*) (Randall *et al.*, 2009)。

由於 16S rRNA 具有共通性 (原核或眞核皆有核醣體核醣核酸)、演化速率慢、高度保守性、提供足夠訊系等特點，16S rRNA 現已被大量使用於各式各式各樣的微生物親緣訊息研究 (Hauben *et al.*, 1997; Hillis & Dixon, 1991; Mehta & Rosato, 2001; Stackebrandt & Goebel, 1994; Vandamm *et al.*, 1996)。另外，許多微生物的 16S rRNA 由於高度保守特性，基因序列相近造成在分類上有困難度。近年來學者改以基因序列變異度較大的 16S-23S rRNA 區間序列 (intergenic transcribed space, ITS) 來作爲分類的研究 (Chen *et al.*, 2004; Mehta & Rosato, 2001; Perez-Luz *et al.*, 2004)。

爲了解台灣地區 PD 葡萄罹病株、雜草寄主植物及蟲媒所感染之 *X. fastidiosa* 菌株間親緣關係，進行 16S rRNA 序列與 16-23S rRNA 區間序列比對分析，並引用文獻中 *X. fastidiosa* 不同植物寄主菌株比對 (Mehta & Rosato, 2001; Su *et al.*, 2011)，9 種寄主包含國內的梨以及及國外的葡萄、桑椹、李、核桃、無花果、夾竹桃、咖啡及柑橘等，對照菌株爲 *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri* 菌株 (表 4)；基因體核酸抽取則參照 Sambrook 等人所建立的方法，測試菌株總量 DNA 則配製爲 10 ng/μl 以供後續試驗；16S rRNA 序列分析採用引子對 16S-F (5'-AGAG TTTGATCCTGGCTCAG-3') /16S-R (5'-AAGGAGGTGATCCAGCC-3')，PCR 反應物條件及增幅條件參照 Chen 氏等人所設計條件進行 PCR 反應聚合 (Chen *et al.*, 2000)，而 16-23S rRNA 分析 PCR 反應物條件參照 16S rRNA 反應條件，引子對爲 unil330：(5'-GTTCCCGGGCCTTGTACACAC -3'）/unil322：(5'-GGTTC

TTTTCGCCTTT CCCTC-3'），增幅條件則參照 Mehta 及 Rosato 所設計條件 (Mehta & Rosato, 2001)。PCR 反應所得 16S rRNA 及 16-23S rRNA 區間序列片段經由純化後，以轉殖套件 pOSI-T PCR Cloning kit 來進行 DNA 片段之轉殖。

表 4. 國內葡萄皮爾斯病菌與其他寄主植物 *X. fastidiosa* 菌株之來源
Table 4. Source of *Xylella fastidiosa*: Taiwanese Pierce's disease strains and strains of other hosts

Species/host or vector	Sthrain	GenBank accession no.		Source of reference
		16S rRNA	16-23S rRNA	
Xylella fastidiosa				
Grape(平林)	GV26	US	US	This Study
	GV61	US	US	This Study
(竹山)	GV14	US	US	This Study
	GV101	US	US	This Study
	GV102	US	US	This Study
(后里外埔)	GV78	US	US	This Study
	GV84	US	US	This Study
(新社白毛台)	GV18	US	US	This Study
	GV20	US	US	This Study
	GV93	US	US	This Study
(卓蘭)	GV63	US	US	This Study
	GV103	US	US	This Study
	ATCC35876	DQ991182	DQ991168	Su *et al.*, 2011
.	ATCC35879	DQ987477	DQ991169	Su *et al.*, 2011
Ampelopsis brevipedunculata	AB1	ND	US	This Study
	AB2	US	US	This Study
	AB3	US	US	This Study
Humulus scandens	HS2	US	US	This Study
	HS3	US	US	This Study
	HS4	US	US	This Study
Diplocyclos palmatus	DP1	US	US	This Study
	DP5	US	US	This Study
	DP10	US	US	This Study
Mallotus paniculatus	MP1	US	US	This Study
Kolla paulula	I-KP1	US	US	This Study
	I-KP2	US	US	This Study
	I09-940	US	ND	This Study
	I10-416	US	ND	This Study
Pear	PLS2	DQ987473	DQ991164	Su *et al.*, 2011
	PE.PLS	AF203392	AF203396	Mehta and Rosato, 2001
Citrus	CI.52	AF203389	AF203393	Mehta and Rosato, 2001
Coffee	CO.01	AF203390	AF203394	Mehta and Rosato, 2001
Grape	ATCC35876	DQ991182	DQ991168	Su *et al.*, 2011
.	ATCC35879	DQ987477	DQ991169	Su *et al.*, 2011
Mulberry	GHS 505	DQ991183	DQ991170	Su *et al.*, 2011
Oleander	GH-9	DQ991185	DQ991172	Su *et al.*, 2011
	Ol	DQ991186	DQ991173	Su *et al.*, 2011
Peach	4-5	DQ991187	DQ991174	Su *et al.*, 2011
Plum	2-4	DQ991188	DQ991175	Su *et al.*, 2011
Pecan	4BD2	DQ991190	DQ991177	Su *et al.*, 2011
Sycamore	SLS 55	DQ991193	DQ991180	Su *et al.*, 2011
Xanthomonas axonopodis pv. *citri*				
Citrus	XCW	DQ991194	DQ991181	Su *et al.*, 2011

ND: not determined; US: unsubmitted to GenBank.

抽取轉殖株的質體，並進行 PCR 及限制酵素切割確認轉殖片段後，將菌株送至明欣生物科技公司以自動定序儀進行定序。將定序所得之基因序列利用 Bioedit 軟體編輯，將刪除載體序列後的轉殖片段送至 NCBI 網站 (http://www.ncbi.nlm.nib.gov/) 進行 BLAST 比對，確認此序列是否爲 *X. fastidiosa* 菌株基因序列的相關序列。同時由 NCBI 網站下載其他寄主植物包括柑桔、梨及咖啡的 *X. fastidiosa* 菌株基因序列。將所有序列提交至歐洲生物資訊所 (EBI) 所提供的 clustal W2 網頁 (http://www.ebi.ac.uk/Tools/msa/clustalw2/) 進行多序列比對。得到一致性序列後，經人工校正後將比對分析結果存爲 phylip 格式，再以 Phylip 3.69 版軟體中的程式以最大似然法 (Maximum Likelihood) 演算計算遺傳距離得到親緣樹狀圖，其中 *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri* 被設定爲外群。同時也進行重複取樣 1000 次來統計 bootstrap 值，以檢驗親緣樹狀圖各分支的可信度。

各菌株 16S rRNA 的序列片段約爲 1528-1539 bp，長度的變化爲 11 bp。進一步對照序列比對結果，我們可以發現來自國內的 PD 葡萄、雜草寄主及蟲媒白邊大葉蟬菌系序列彼此間有 99-100% 相似度，與其他寄主的 *X. fastidiosa* 菌系的序列比較皆有 98-99% 相似度，而與作爲外群 *Xanthomonas axonopodis* pv. *citriu* 比較有 95% 相似度 (表 5)。由 16S rRNA 序列親緣樹狀圖的樹型與距離顯示：進一步由親緣樹狀圖可以發現 *X. fastidiosa* 不同地區寄主植物菌株可區分五個菌群，第一群爲葡萄與桑椹菌群；第二群爲咖啡與柑橘菌群；第三群菌株包含胡桃、李、桃及無花果菌群；第四群爲夾竹桃菌群及第五群爲梨菌群。而來自國內 PD 葡萄、雜草寄主及蟲媒菌系皆歸屬於 X. fastidiosa 菌群中的葡萄桑椹菌群 (圖 9)。

表 5. 國內葡萄皮爾斯病菌與其他寄主植物 *X. fastidiosa* 菌株之 16S rRNA 序列相似度比較

Table 5. Nucleotides similarities of 16S rRNA sequences of *Xylella fastidiosa* between Taiwanese Pierce's disease strains and strains of other hosts

Sthrains		相似度 (%)																																						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
GV14	1	100																																						
GV18	2	100	100																																					
GV20	3	100	100	100																																				
GV26	4	99	99	99	100																																			
GV61	5	99	99	99	99	100																																		
GV63	6	99	99	99	99	99	100																																	
GV78	7	100	100	100	99	99	99	100																																
GV84	8	99	99	99	99	99	99	99	100																															
GV93	9	99	99	99	99	99	99	99	99	100																														
GV101	10	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100																													
GV102	11	100	100	100	99	99	99	100	99	99	99	100																												
GV103	12	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100																											
AB3	13	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100																										
AB4	14	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100																									
HS2	15	100	100	100	99	99	99	100	99	99	99	100	99	99	99	100																								
HS3	16	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100																							
HS4	17	100	100	100	99	99	99	100	99	99	99	99	99	99	99	100	99	100																						
DP1	18	100	100	100	99	99	99	100	99	99	99	100	99	99	99	100	99	100	100																					
DP5	19	100	100	100	99	99	99	100	99	99	99	100	99	99	99	100	99	100	100	100																				
DP10	20	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100																			
MJ1	21	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100																		
I-KP1	22	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100																	
I-KP2	23	100	100	100	99	99	99	100	99	99	99	100	99	99	99	100	99	100	100	100	99	99	99	100																
I-09-940	24	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100															
I-10-416	25	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100														
ATCC35876	26	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100													
ATCC35879	27	100	100	100	99	99	99	100	99	99	99	100	99	99	99	100	99	100	100	100	99	99	99	100	99	99	99	100												
GHS505	28	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100											
2--4	29	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100										
4--5	30	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100									
ABD2	31	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100								
SLS55	32	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100							
CL52	33	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100						
CO.01	34	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100	100					
O1	35	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100				
GH-9	36	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100			
PLS2	37	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	100		
PE.PLS	38	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	99	100	
XCW	39	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	96	96	100

由於 16-23S rRNA 區間序列隨著演化過程會保留突變訊息，使得 16-23S rRNA 區間序列會有增長的現象，變異度也較高於 16S rRNA 序列。即使 16-23S rRNA 區間序列的片段約只有 511-540 bp，各序列長度上卻有 29 bp 的差別。國內的 PD 葡萄、雜草寄主及蟲媒白邊大葉蟬菌系序列彼此間有 99-100% 相似度，與其他寄主的 *X. fastidiosa* 的序列間比較有 97-100% 相似度，而與國內兩個梨葉緣焦枯病菌株的序列以及作為外群 *Xanthomonas axonopodis* pv. *Citri* 的序列比較只有 84-87% 及 77-78% 相似度 (表 6)。親緣樹狀圖與 16S rRNA 有一致性的樹型，*X. fastidiosa* 不同地區寄主植物菌株亦可分為五個菌群。國內 PD 葡萄、雜草寄主及蟲媒白邊大葉蟬菌系皆屬於 *X. fastidiosa* 菌群中的葡萄桑椹菌群 (圖 10)。由 16S rRNA 與 16-23S rRNA 區間序列親緣樹狀圖分析，國內各地 PD 葡萄、雜草寄主植物及白邊大葉蟬的菌株基因序列彼此間皆有 99-100% 相似度具同源性。配合人工交互接種試驗結果亦顯示兩者可互相感染，更佐證國內葡萄 PD 發生罹病園鄰近有本土性蟲媒存在，而且可以藉由雜草寄主植物存在而增加 PD 病害擴散的可能性。

表 6. 國內葡萄皮爾斯病菌與其他寄主植物 *X. fastidiosa* 菌株之 16 -23S rRNA 序列相似值比較

Table 6. Nucleotides similarities of 16S-23S rRNA intergenic space sequence of *Xylella fastidiosa* between Taiwanese Pierce's disease strains and strains of other hosts

Sthrains		相似度 (%)																																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
GV14	1	100																																					
GV18	2	99	100																																				
GV20	3	99	99	100																																			
GV26	4	99	99	99	100																																		
GV61	5	99	99	99	100	100																																	
GV63	6	99	99	99	99	99	100																																
GV78	7	99	99	99	100	100	99	100																															
GV84	8	99	99	99	100	100	99	100	100																														
GV93	9	99	99	99	99	99	99	99	99	100																													
GV101	10	99	99	99	100	100	99	100	100	99	100																												
GV102	11	99	99	99	100	100	99	100	100	99	100	100																											
GV103	12	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100																										
AB1	13	99	99	99	100	100	99	100	100	99	100	100	99	100																									
AB3	14	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100																								
AB4	15	99	99	99	100	100	99	100	100	99	100	100	99	100	99	100																							
HS2	16	99	99	99	100	100	99	100	100	99	100	100	99	100	99	100	100																						
HS3	17	99	99	99	100	100	99	100	100	99	100	100	99	100	99	100	100	100																					
HS4	18	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100																				
DP1	19	99	99	99	100	100	99	100	100	99	100	100	99	100	99	100	100	100	99	100																			
DP5	20	99	99	99	100	100	99	100	100	99	100	100	99	100	99	100	100	100	99	100	100																		
DP10	21	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100																	
MJ1	22	99	99	99	100	100	99	100	100	99	100	100	99	100	99	100	100	100	99	100	100	99	100																
I-KP1	23	99	99	99	100	100	99	100	100	99	100	100	99	100	99	100	100	100	99	100	100	99	100	100															
I-KP2	24	99	99	99	100	100	99	100	100	99	100	100	99	100	99	100	100	100	99	100	100	99	100	100	100														
ATCC35876	25	99	99	99	100	100	99	100	100	99	100	100	99	100	99	100	100	100	99	100	100	99	100	100	100	100													
ATCC35879	26	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100												
GHS505	27	99	99	99	100	100	99	100	100	99	100	100	99	100	99	100	100	100	99	100	100	99	100	100	100	100	99	100											
2--4	28	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	100										
4--5	29	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	100	100									
ABD2	30	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	99	98	100	100	100								
SLS55	31	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	100	100	100	100							
CI.52	32	97	97	97	98	98	97	98	98	97	98	98	97	98	97	98	98	98	97	98	98	97	98	98	98	98	98	98	99	99	99	99	100						
CO.01	33	97	97	97	98	98	97	98	98	97	98	98	97	98	97	98	98	98	97	98	98	97	98	98	98	98	99	98	99	99	99	99	100	100					
O1	34	98	98	98	99	99	98	99	99	98	99	99	98	99	98	99	99	99	98	99	99	98	99	99	99	99	99	99	98	98	98	98	97	97	100				
GH-9	35	98	98	98	99	99	98	99	99	98	99	99	98	99	98	99	99	99	98	99	99	98	99	99	99	99	99	99	98	98	98	98	97	97	99	100			
PLS2	36	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	86	85	85	85	85	85	85	85	85	85	86	86	86	86	85	85	85	85	100		
PE.PLS	37	85	84	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	87	85	85	85	85	85	85	85	99	100	
XCW	38	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	77	77	77	77	77	77	78	78	79	79	100

結 論

國內 PD 病害已確認在 10 個鄉鎮之葡萄產區發生，田間觀察顯示栽培之釀酒或鮮食品系皆能罹病，當年生或多年生之葡萄罹病植株在生育期

中期後 (葡萄果實轉色期) 葉片即能顯現典型之葉緣焦枯之病徵，田間罹病植株可觀察到初期部分枝條葉片表現病徵或後期嚴重發病呈現系統性感染，植株呈現樹勢衰弱甚至死亡之現象 (圖 11)，顯見其對葡萄植株產量之影響甚鉅；由歷年田間偵測到葡萄 PD 罹病園分布特性，大部分 PD 發生之葡萄產區爲丘陵地形坡地葡萄園，一年一收釀酒品種栽植園遠較一年二收鮮食品種栽植園罹病嚴重，顯見坡地葡萄園周遭雜林植被潛藏可能之雜草寄主植物或蟲媒有利於 PD 病原菌殘存或永續生存，但精緻栽培管理葡萄園可減緩 PD 發生蔓延；動植物防檢局過去 9 年執行官方鏟除 PD 罹病株減少感染源策略並於葡萄產區積極進行 PD 防疫宣導講習，確實在上述疫區有效監控 PD 發生同時未讓 PD 擴散蔓延至國內葡萄主要產區彰化地區，另過去並未偵測到國外已知之蟲媒種類存在於台灣，推測 PD 在台灣應無法達到嚴重流行之條件；但 4 種雜草寄主雙輪瓜、漢氏山葡萄、葎草及野桐屬白匏仔陸續被證實，文獻記載 PD 病害之病原菌寄主範圍廣，涵蓋 28 科 94 種植物，而其中許多可能爲無病徵寄主植物 (symptomless hosts)，一般認爲有些非作物寄主植物 (non-crop hosts) 可能爲引起 PD 之主要感染源，有潛能傳播病原至葡萄園，顯見國內葡萄產區 PD 病原菌有可能藉由非作物寄主植物永續生存，依據歷年田間蟲媒偵測調查結果計有 4 種木質部取食者昆蟲及 PD 罹病園罹病植株分布與鄰近偵測到雜草寄主似乎有地緣相關性，這些木質部取食者部分昆蟲種類初步證實爲 PD 病害自然傳播途徑角色；根據田間觀察通霄、外埔及后里 PD 嚴重發生葡萄產區，農友多自行扦插繁殖葡萄植株，常發生扦插率低之情形及延遲萌芽之現象，甚至可見半年生之扦插植株罹病顯現典型系統性葉緣焦枯之病徵，推斷 PD 可能早在當地危害多年？過去在人爲扦插繁殖及不知情狀況下移動罹病苗木傳播途徑確實會助長 PD 在該地區蔓延發生；目前國內葡萄產區之大部分農友對本病之生態學基本資料仍不甚清楚？茲提幾點淺見供國內葡萄 PD 防疫策略擬定之參考。

(一) PD 公告後應持需進行官方監控並有限度劃定疫區徹底執行相關防疫措施，才能減緩 PD 對國內葡萄產業衝擊，維繫優質葡萄產業永續發展。

(二) 在非 PD 疫區的葡萄產區，必需防範與管制自罹病的葡萄果園取用嫁接枝條，以避免罹病枝穗、帶菌種苗植物及媒介昆蟲傳入產區。

(三) 透過農友講習會全面性宣導，讓農友完全清楚 PD 之生態學基本資料及葡萄產業衝擊之嚴重性，並掌握住適當之調查時機及田間診斷要領，由農友自行標定園內 PD 之罹病株，自發性鏟除罹病株及周邊雜草寄主植物，才能更有效撲滅國內葡萄產區 PD 之感染源。

(四) 未來積極防杜國外已知之蟲媒入侵，國內 PD 寄主範圍植物及本土性之蟲媒之偵測調查應持續進行並深入探討兩者在 PD 流行病學所扮演角色。

誌 謝

本文係作者等執行農委會防檢局歷年來的「葡萄新病害緊急調查 (計畫編號：92 管理-3.2-植防-02(4-2), 93 管理-3.1-植防-5(1), 94 救助調整-檢-01)」 與 「加入世貿組織強化植物有害生物防範措施 (計畫編號：公務-1.2-植防-02(4-3), 95 救助調整-檢-01, 96 救助調整-檢-01, 97 救助調整-檢-01, 98 救助調整-檢-01, 99 救助調整-檢-01, 100 救助調整-檢-01)」之研究成果；在葉蟬分類研究部分，則承國科會補助 「葉蟬塗抹與梳刷行爲於葉蟬科高階分類之應用」(計畫編號：NSC 98-2313-B-055 -006 -MY3) 計畫經費。作者謹此表達誌謝。

引用文獻

林嘉興。2004。葡萄產業沿革與栽培技術之發展。葡萄栽培技術研討會專集。台中區農業改良場特刊第 67 號 p.9-22。

楚燕杰。2001。葡萄皮爾斯病及防治技術。煙台果樹 4 :11-12。

Aguilar, E., L. Moreira, and C. Rivera. 2008. Confirmation of *Xylella fastidiosa* infecting grapes *Vitis vinifera* in Costa Rica. Trop. Plant Pathol. 33: 444-448.

Berisha, B., Chen, Y. D., Zhand, G. Y., and Chen, T. A. 1998. Isolation of Pierce’s disease bacteria from grapevines in Europe. Eur. J. Plant Pathol. 104: 427-433.

Blua, M. J., P. A. Phillips, and R. A. Redak. 1999. A new sharpshooter threatens both crops and ornamentals. Calif. Agric. 53: 22-25.

Chen, C. C., L. J. Teng, and T. C. Chang. 2004. Identification of clinically relevant viridan s group streptococci by sequence analysis of the 16S-23S ribosomal DNA spacer region. J. Clin. Microbiol. 42: 2651-2657.

Chen, J., J. S. Hartung, C. J. Chang, and A. K. Vidaver. 2002. An evolutionary perspective of Pierce's disease of grapevine, citrus variegated chlorosis, and mulberry leaf scorch diseases. Curr. Microbiol. 45: 423-428.

Chen, J., C. J. Chang, R. L. Jarret, and L. Gawel. 1992. Genetic variation among *Xylella fastidiosa* strains. Phytopathology 82: 973-977.

Chen. J., D. Bank, R. L. Jarret, C. J. Chang, and B. J. Smith. 2000. Use of 16S rDNA sequences as signature characters to identify *Xylella fastidiosa*. Curr. Microbiol. 40: 29-33.

Freitag, J. H. 1951. Host range of Pierce’s disease virus of grapes as determined by insect transmission. Phytopathology 41: 920-934.

Hauben, L., L. Vauterin, J. Swings, and E. R. B. Moore. 1997. Comparison of 16S ribosomal DNA sequences of all *Xanthomonas* species. Int. J. Syst. Bacteriol. 47: 328-335.

Hendson, M., A. H. Purcell, D. Chen, C. Smart, M. Guilhabert, and B. Kirkpatrick. 2001. Genetic diversity of Pierce's disease strains and other pathotypes of *Xylella fastidiosa*. Appl. Environ. Microbiol. 67: 895-903.

Hernandez-Martinez, R., de la Cerda, K., H. S. Costa, D. A. Cooksey, and F. P. Wong. 2007. Phylogenetic relationships of *Xylella fastidiosa* strains isolated from landscape ornamentals in southern California. Phytopathology 97: 857-86.

Hewitt, W. B., B. R. Houston, N. W. Frazier, and J. H. Freitag. 1946. Leafhopper

transmission of the virus causing Pierce’s disease of grape and dwarf of alfalfa. Phytopathology 36: 117-128.

Hillis, M. D., and M. T. Dixon. 1991. Ribosomal DNA: molecular evolution and phylogenetic inference. Quart. Rev. Bio. 66: 411-453.

Hill, B. L., and A. H. Purcell. 1995. Multiplication and movement of *Xylella fastidiosa* within grapevine and four other plants. Phytopathology 85: 1368-1372.

Hopkins, D. L. 1989. *Xylella fastidiosa*: xylem-limited bacterial pathogen of plants. Ann. Rev. Phytopathol. 27: 271-290.

Hopkins. D. L. 2001. Pierce’s disease. *In:Encyclopaedia of Plant Pathology Volume II*, Maloy, O. C. and Murray, T. D.(eds), John Wiley and Sone Inc., New York, pp71-772.

Hopkins, D. L., and W. C. Adlerz. 1988. Natural hosts of *Xylella fastidiosa* in Florida. Plant Dis. 72: 492-431.

Hopkins, D. L., and A. H. Purcell. 2002. *Xylella fastidiosa*: cause of Pierce's disease of grapevine and other emergent diseases. Plant Dis. 86: 1056-1066.

Hoddle, M. S., S. V. Triapitsyn, and D. J. W. Morgan. 2003. Distribution and plant association records for *Homalodisca coagulata* (Hemiptera: Cicadellidae) in Florida. Fla. Entomol. 86: 89-91.

Jimenez, A. 1985. Immunological evidence of Pierce’s disease of grapevine in Venezuela. Turrialba 35: 243-247.

Mehta, A., and Y. B. Rosato. 2001. Phylogenetic relationships of *Xylella fastidiosa* strains from different hosts, based on 16S rRNA and 16-23S intergenic spacer sequences. Int. .J Syst. Evol. Microbiol. 51: 311-318.

Minsavage, G. V., C. M. Thompson, D. L. Hopkins, R. M. V. B. C. Leite, and R. E. Stall. 1994. Development of polymerase chain reaction protocol for detection of Xylella fastidiosa in plant tissue. Phytopathology 84: 456-461.

Nome, S. F., R. M. Haelterman, D. M. Docampo, A. G. Prataviera, and L.V. Di Feo. 1992. Escaldadura de las hojas del almendro en Argentina. Fitopatol. Bras. 17: 57-60.

Perez-Luz, S., Y. M. Adela, and V. Catalan. 2004. Identification of waterborne bacteria by the analysis of 16S-23S rRNA intergenic spacer region. J. Appl. Microbiol. 97 : 191-204.

Pooler, M. R., and J. S. Hartung. 1995. Genetic relationships among strains of *Xylella fastidiosa* from RAPD-PCR data. Curr. Microbiol. 31: 134-137.

Pooler, M. R., and J. S. Hartung. 1995. Specific PCR detection and identification of *Xylella fastidiosa* strains causing citrus variegated chlorosis. Curr. Microbiol. 31: 377-381.

Purcell, A. H. 1977. Cold therapy of Pierce’s disease of grapevines. Plant Dis. Rep. 61: 514-519.

Purcell, A. H. 1980b. Almond leaf scorch:leafhopper and spittle bug vectors. J. Eco. Entomol. 73(6): 834-838.

Purcell, A. H. 1997. *Xylella fastidiosa*, a regional problem or global threat? J. Plant Pathol. 79(2): 99-105.

Purcell, A. H. 2000. Glassy-winged sharpshooter (Homalodisca coagulata).

http://nature.berkeley.edu/xylella/oss.html

Purcell, A. H., and D. L. Hopkins. 1996. Fastidious xylem-limited bacterial plant pathogens. Ann. Rev. Phytopathol. 34: 131-151.

Purcell, A. H., and S. R. Saunders. 1999b. Fate of Pierce's disease strains of *Xylella fastidiosa* in common riparian plants in California. Plant Dis. 83: 825-830.

Purcell, A. H., and S. R. Saunders. 1995 Harvested grape clusters as inoculum for Pierce's disease. Plant Dis. 79: 190-192.

Qin, X., V. S. Miranda, M. A. Machado, E. G. M. Lemos, and J. S. Hartung. 2001. An evaluation of the genetic diversity of *Xylella fastidiosa* isolated from diseased citrus and coffee in São Paulo, Brazil. Phytopathology 91: 599-605.

Raju, B. C., A. C. Goheen, and N. W. Frazier. 1983. Occurrence of Pierce's disease bacteria in plants and vectors in California. Phytopathology 73: 1309-1313.

Randall, J. J., N. P. Goldberg, J. D. Kemp, M. Radionenko, J. M. French, M. W. Olsen, and S. F. Hanson. 2009. Genetic analysis of a novel *Xylella fastidiosa* subspecies found in the southwestern United States. Appl. Environ. Microbiol. 75: 5631-5638.

Redak, R. A., A. H. Purcell, J. R. S. Lopes, M. J. Blua, R. F. Mizell III, and P. C. Andersen. 2004. The biology of xylem fluid-feeding insect vectors of *Xylella fastidiosa* and their relation to disease epidemiology. Annu. Rev. Entomol. 49: 243-270.

Rosato, Y. B., J. B. Neto, V. S. Miranda, E. F. Carlos, and C. P. Manfio. 1998. Diversity of a *Xylella fastidiosa* population isolated from *Citrus sinensis* affected by citrus variegated chlorosis in Brazil. Syst. Appl. Microbiol. 21: 593-598.

Sambrook, J., E. F. Fritsch, and T. Maniatis. 1989. Molecular cloning: A laboratory manual. 2nd edition. (Cold Spring Harbor, NY: Cold Spring Harbor Laboratory Press)

Schaad, N. W., E. Postnikova, G. Lacy, M. Fatmi, and C. J. Chang. 2004. *Xylella fastidiosa* subspecies: *X. fastidiosa* subsp. *piercei*, subsp. nov., *X. fastidiosa* subsp. *multiplex* subsp. nov., *X. fastidiosa* subsp. *multiplex* subsp. nov., and *X. fastidiosa* subsp. *pauca* subsp. nov. Syst. Appl. Microbiol. 27: 290-300.

Shih, H. T., C. H. Dietrich, and J. T. Yang. 2004. Use of vineyards as habitats by leafhoppers (Insecta: Hemiptera: Cicadelloidea) in central Taiwan. Plant Prot. Bull. 45: 405- 406.

Shih, H. T., C. C. Su, C. Y. Feng, C. C. Fanjiang, W. F. Hung, and L. Y. Hung. 2009. Studies on the morphology, ecology, and host range for *Kolla paulula* (Walker, 1858) (Hemiptera: Membracoidea: Cicadellidae: Cicadellinae). Formosan Entomol. 29: 353.

Smith, I. M., D. G. McNamara, P. R. Scott, and K. M. Harris. 1997. *Xylella fastidiosa. In:Quarantine Pests for Europe*, CAB International, Wallingford, UK, pp845-851.

Stackebrandt, E., and B. M. Goebel. 1994. Taxonomic note: a place for DNA-DNA reassociation and 16S rRNA Sequence analysis in the present species definition in bacteriology. Int. Syst. Bacteriol. 44: 846-849

Su , C. C., C. J. Chang, W. J. Yang, S. T. Hsu, K. C. Tzeng, F. J. Jan, and W. L. Deng. 2011. Specific characters of 16S rRNA gene and 16S-23S rRNA internal

transcribed spacer sequences of *Xylella fastidiosa* pear leaf scorch strains. Eur. J. Plant Pathol. (Accepted)

Vandamme, P., B. Pot, M. Gillis, P. de Vos, K. Kersters, and J. Swings. 1996. Polyphasic taxonomy, a consensus approach to bacterial systematics. Microbiol. Rev. 60: 407-438.

Varela, L. G., A. H. Purcell, and R. J. Smith. 2000. University of California Cooperative Extension and Statewide IPM Project, Pierce's Disease in the North Coast. http://www.cnr.berkeley.edu/xylella/pd97.html

Wells, J. M., B. C. Raju, H. Y. Hung, W. G. Weisburg, L. Mandelco-Paul, and D. J. Brenner. 1987. *Xylella fastidiosa* gen. nov., sp. nov: Gram-negative, xylem-limited, fastidious plant bacteria related to Xanthomonas spp. Int. J. Sys. Bacteriol. 37: 136-143.

Current status of Pierce's disease of grape and its vector in Taiwan

Chiou-Chu Su[1,3], Hsien-Tzung Shih[2,4], Ying-Shiou Lin[1], Wen-Ying Su[1], and Ching-Wen Kao[1]

[1] Taiwan Agricultural Chemicals And Toxic Substance Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan, Wu-feng , Taichung 413, Taiwan, ROC.
[2] Applied Zoology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Taichung, Taiwan, ROC.
[3] Disease corresponding author, e-mail: auba@tactri.gov.tw
[4] Insect pest corresponding author, e-mail: htshih@tari.gov.tw

Abstract

There is no record of Pierce's disease (PD) of grapes incidence in Taiwan, even though PD of grapes caused by *Xylella fastidiosa*, a xylem-limited bacterium, has been listed as one of the international quarantine plant diseases. In 2002, the Bureau of Animal and Plant Health Inspection and Quarantine launched a survey project to find out if PD occurs in Taiwan. By using isolations and PCR protocols, a total of 12023 grapevines were confirmed to be infected by *X. fastidiosa* and hence eradicated. Other than grapes, the following four plants were confirmed to be the alternative hosts of PD strains: *Diplocyclos palmatus* (L.) C. Jeffrey, *Ampelopsis brevipedunculata* (Maxim.) Trautv var. *hancei* (Planch.) Render, *Humulus scandens* (Lour.) Merr., and *Mallotus paniculatus* (Lam.) Muell. -Arg. In the search of insect vectors for PD strains dissemination in Taiwan, *Kolla paulula* (Walker) was confirmed to be the vector by the fulfillment of Koch's postulates. Over the years, survey results indicated that there are no foreign reportedly known vectors in Taiwan. PD strains including originally isolated from tissues of grapes showing PD symptoms collected from around the country, from vector *Kolla paulula*, and from tissues of 4 alternative hosts were compared with pear leaf scorch strains and strains of foreign origins from grapes, mulberry, plum, pecan, sycamore, and oleander by sequence analyses of 16S rRNA and 16S-23S rRNA internal transcribed spacer region (ITS). The phylogenetic trees constructed by Maximum Likelihood revealed that *X. fastidiosa* strains from different hosts could be divided into the following five subgroups: (1) grape and mulberry strains, (2) citrus and coffee strains, (3) pecan, peach, plum and sycamore strains, (4) oleander strains and (5) pear strains. The similarity index of all Taiwanese's PD strains including the above-mentioned three various sources were both 99-100% based on 16S rRNA and 16S-23S rRNA ITS region. The homology of Taiwanese's PD strains placed them in line with the subgroup of grape and mulberry. The urgent prevention of importing foreign proven vectors via nursery stocks will be critical in disease control. The continuing efforts on the identification of alternative hosts and their relationships with local vectors warrant further attentions for the understanding of the epidemiology of PD diseases in Taiwan.

Keywords: Pierce's disease of grapes, *Xylella fastidiosa*, alternative hosts, vector

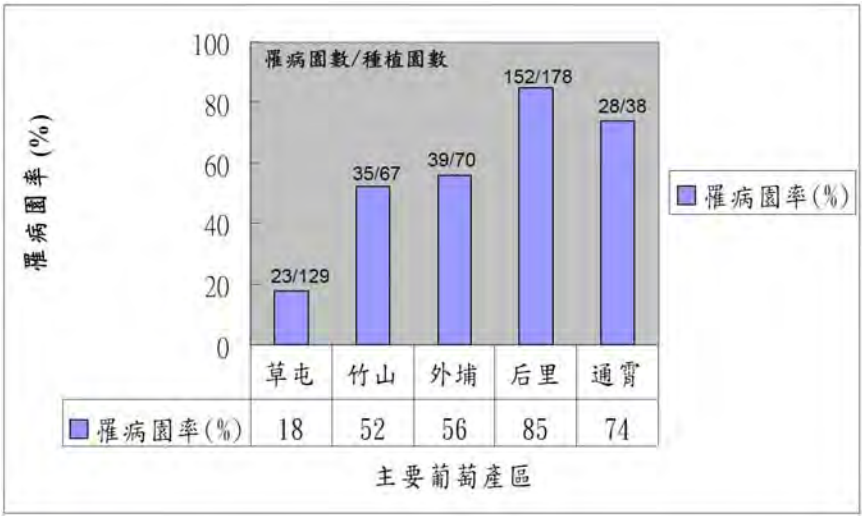


圖 1. 自 91-99 年調查台灣主要葡萄產區葡萄皮爾斯病的罹病園率。
Fig. 1. Percentage of grape orchards with confirmed Pierce’s disease incidence in major grape production counties conducted from 2002 to 2010.

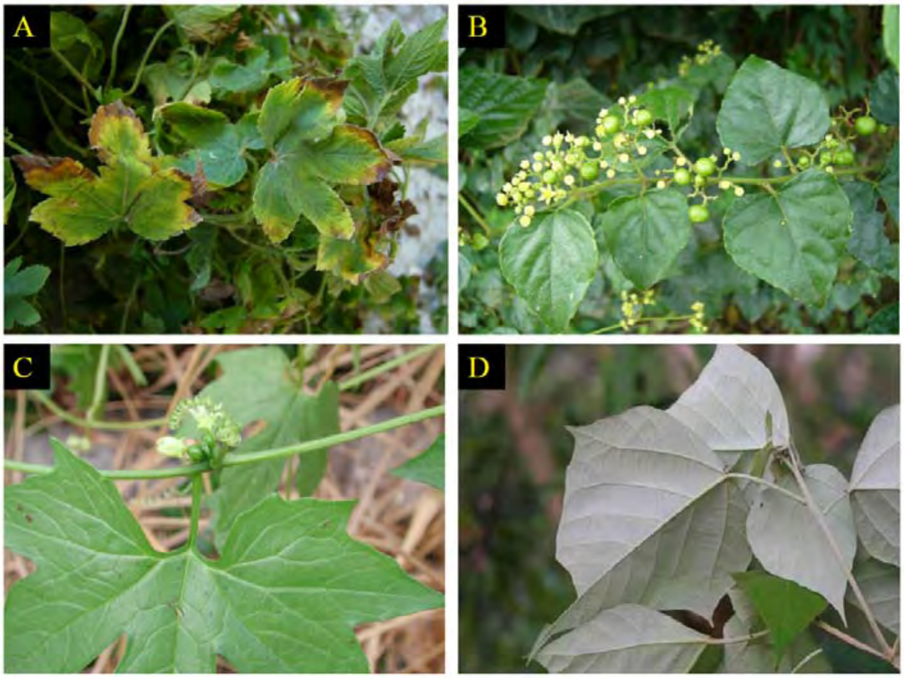


圖 2. 台灣已經證實爲葡萄皮爾斯病的四種植物：(A) 葎草 (Humulus scandens (Lour.) Merr.); (B) 漢氏山葡萄 (Ampelopsis brevipedunculata (Maxim.) Trautv var. hancei (Planch.) Render); (C) 雙輪瓜 (Diplocyclos palmatus (L.) C. Jeffrey); (D) 白匏仔 (Mallotus paniculatus (Lam.) Muell. -Arg.)。
Fig.2. Four alternative hosts of Xylella fastidiosa Pierce’s disease strains: (A) Humulus scandens (Lour.) Merr.; (B) Ampelopsis brevipedunculata (Maxim.) Trautv var. hancei (Planch.) Render; (C) Diplocyclos palmatus (L.) C. Jeffrey; (D) *Mallotus paniculatus* (Lam.) Muell. -Arg.

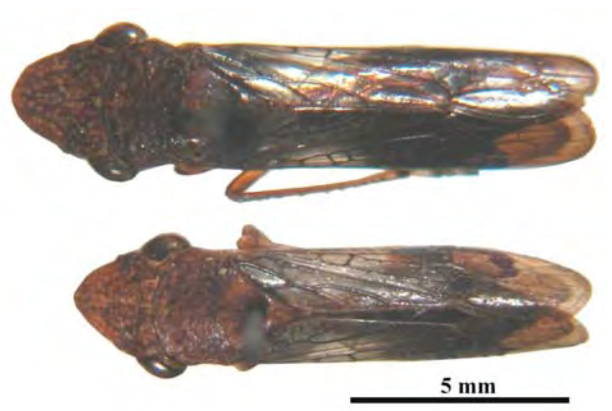


圖 3. 褐透翅尖頭葉蟬 (Homalodisca vitripennis)：成蟲。(圖：石憲宗)

Fig. 3. Homalodisca vitripennis, adult. (Photo by H. T. Shih)

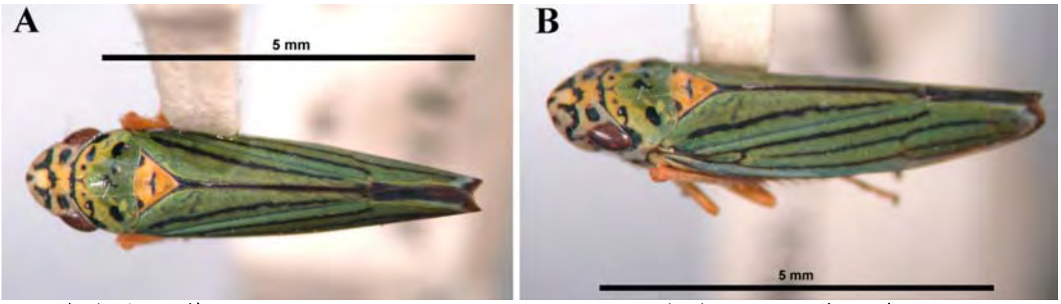


圖 4. 藍綠尖頭葉蟬 (Graphocephala atropunctata) 成蟲：(A) 背面觀；(B) 側面觀。(圖：石憲宗)

Fig. 4. Graphocephala atropunctata, adult: dorsal view (A), lateral view (B). (Photos by H. T. Shih)

圖 5. 綠尖頭葉蟬 (Draeculacephala minerva) 成蟲：(A) 背面觀；(B) 側面觀。(圖：石憲宗)

Fig. 5. Draeculacephala Minerva, adult: dorsal view (A), lateral view (B). (Photos by H. T. Shih)

圖 6. 黃頭長沫蟬 (Philaenus spumarius (Linnaeus)) 成蟲背面觀。(圖：石憲宗)
Fig. 6. Adult of Philaenus spumarius: dorsal view. (Photo by H. T. Shih)

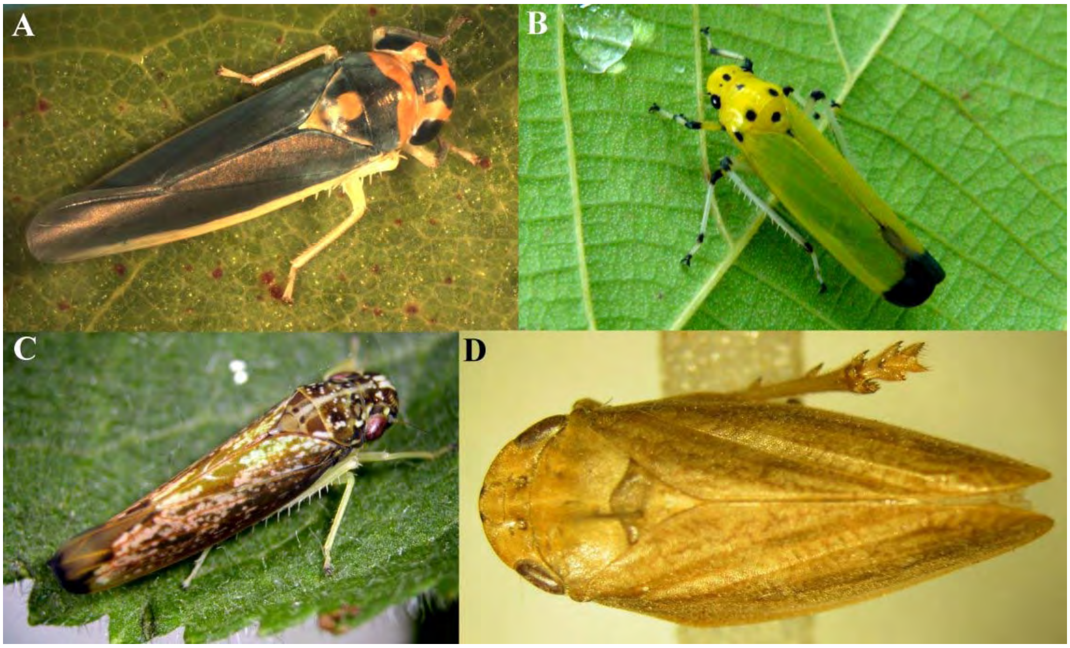


圖 7. 台灣葡萄園 PD 罹病樣區的媒介昆蟲 (A) 或具傳病潛力的媒介昆蟲 (C-D)：A. 白邊大葉蟬 (Kolla paulula)；B. 黑尾大葉蟬 (Bothrogonia ferruginea)；C. 縱脈斑大葉蟬 (Anatkina horishana)；D. 嗜菊短頭脊沫蟬 (Poophilus costalis)。(圖 A：洪婉芳；圖 B-D：石憲宗)。
Fig. 7. Confirmed vector (A) and potential vectors (B-D) of Pierce’s disease of grape in Taiwan: A, Kolla paulula; B, Bothrogonia ferruginea; C, Anatkina horishana; D, Poophilus costalis. (Photos: A, by W. F. Hung; B-D by H. T. Shih)

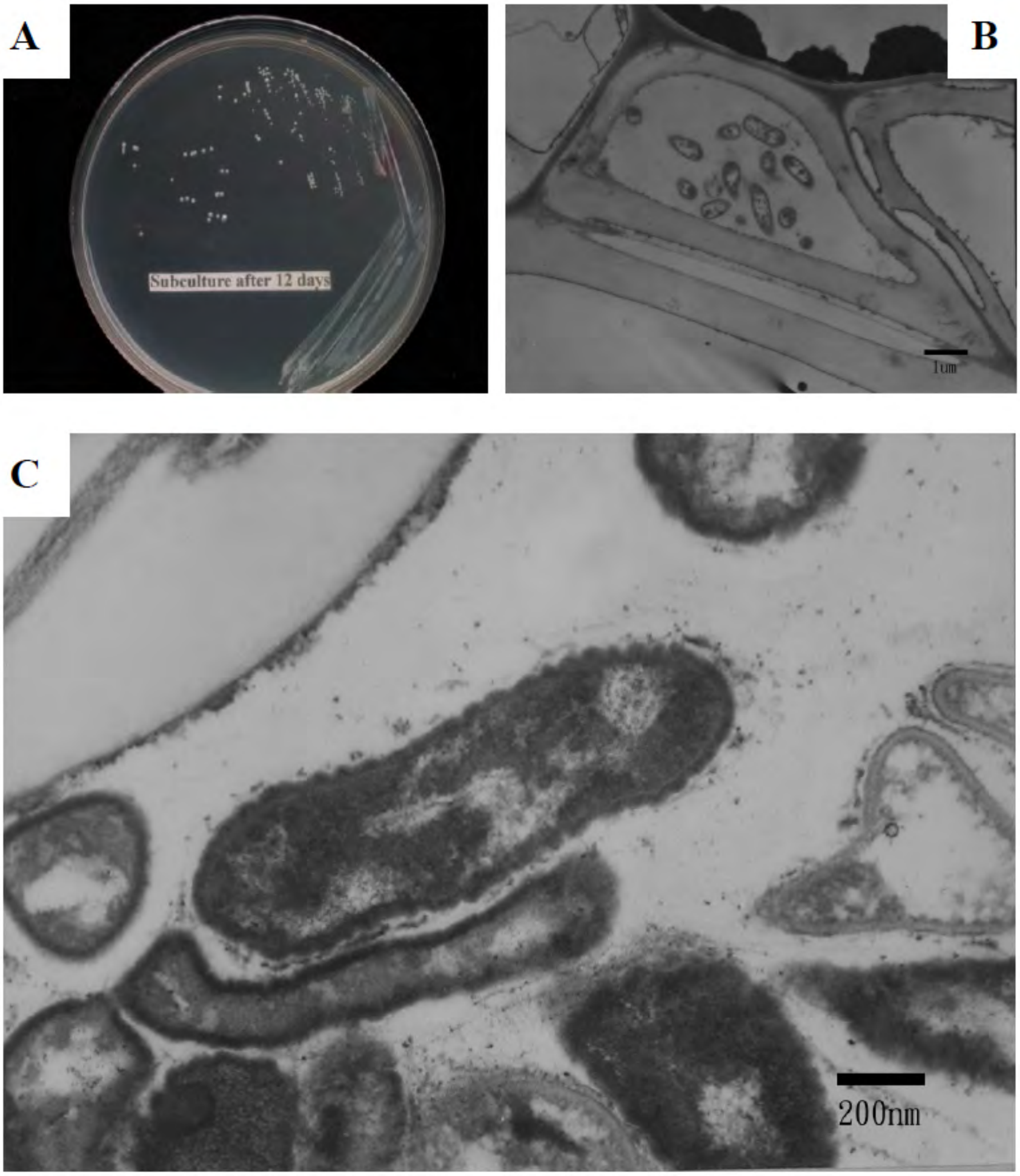


圖 8. 葡萄皮爾斯病菌於 PD2 平板培養之菌落型態 (A)，罹病組織電顯觀察細菌棲息於導管內 (B)，細菌具有明顯波浪狀細胞壁 (C)。

Fig. 8. Colony of Pierce's disease strains subcultured in PD2 plate (A), cells of Xylella fastidiosa in xylem vessel of diseased grape tissue observed with a TEM (B), cells of Xylella fastidiosa with rippled cell walls (C).

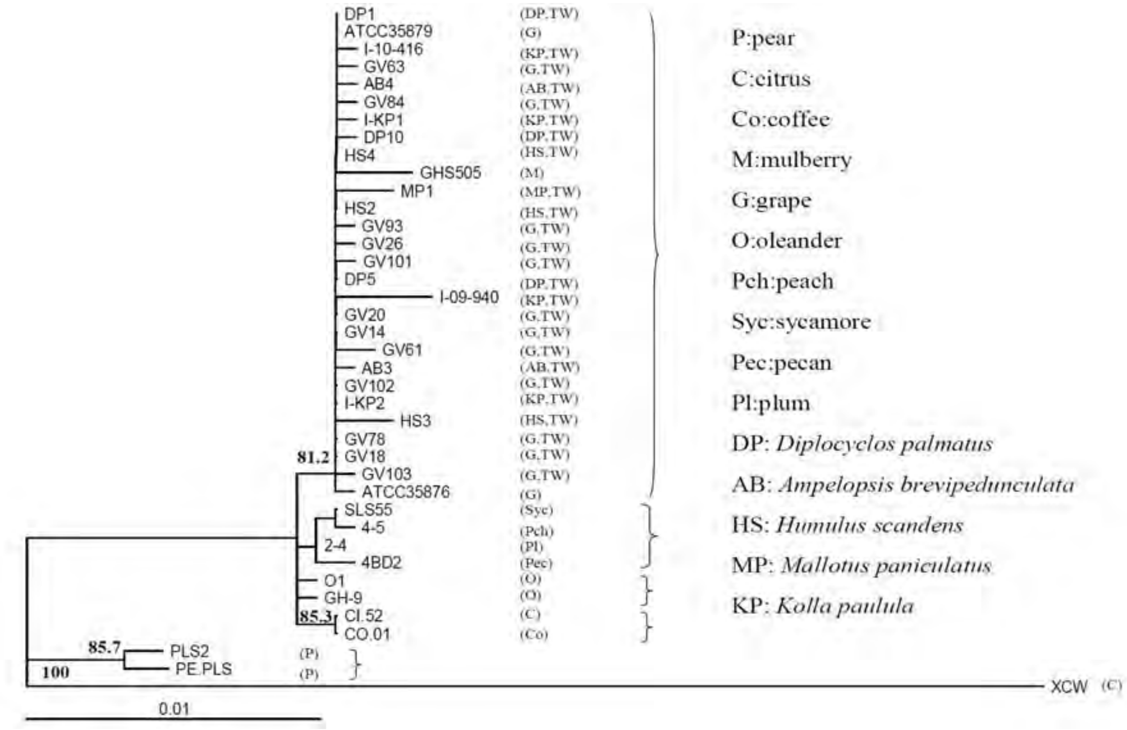


圖 9. 國內葡萄皮爾斯病菌與其他寄主植物 X. fastidiosa 菌株之 16S rRNA 序列，經由最大似然法 (Maximum Likelihood) 分析親緣演化樹；枝條上的數字代表 bootstrap 值，僅標示高於 70 的 bootstrap 值。圖中尺標表示 DNA 序列置換的比例。

Fig. 9. A phylogenetic tree constructed with the Maximum Likelihood method based on the 16S rRNA sequence of Xylella fastidiosa Taiwanese Pierce’s disease strains and strains of other hosts. The numbers indicate the level of bootstrap support (percentage) based on 1000 re-sampled data sets (only when values are greater than 70%).The scale bar represents sequence divergence.

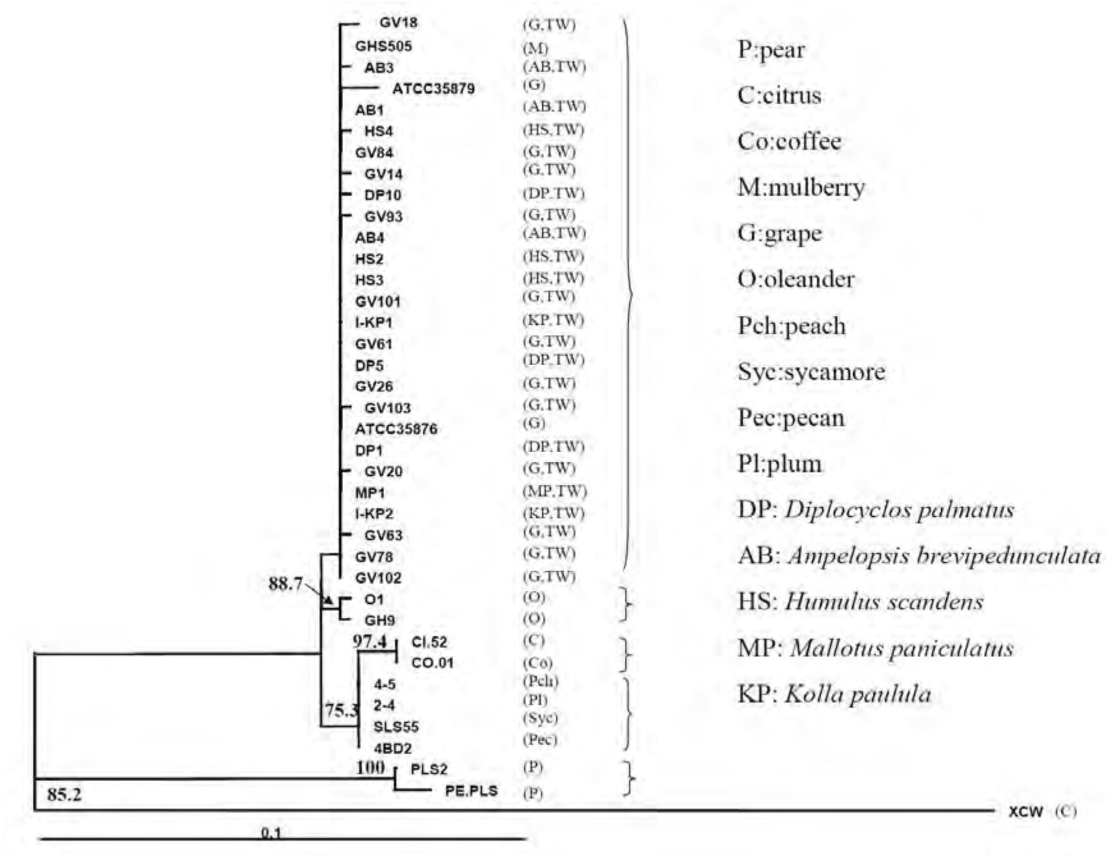


圖 10. 國內葡萄皮爾斯病菌與其他寄主植物 X. fastidiosa 菌株之 16-23S rRNA 序列，經由最大似然法 (Maximum Likelihood) 分析親緣演化樹。枝條上的數字代表 bootstrap 值，僅標示高於 70 的 bootstrap 值。圖中尺標表示 DNA 序列置換的比例。

Fig. 10. A phylogenetic tree constructed with Maximum Likelihood method based on the 16S-23S rRNA intergenic space sequence of Xylella fastidiosa Taiwanese Pierce’s disease strains and strains of other hosts. The numbers indicate the level of bootstrap support (percentage) based on 1000 re-sampled data sets (only when values are greater than 70%).The scale bar represents sequence divergence.

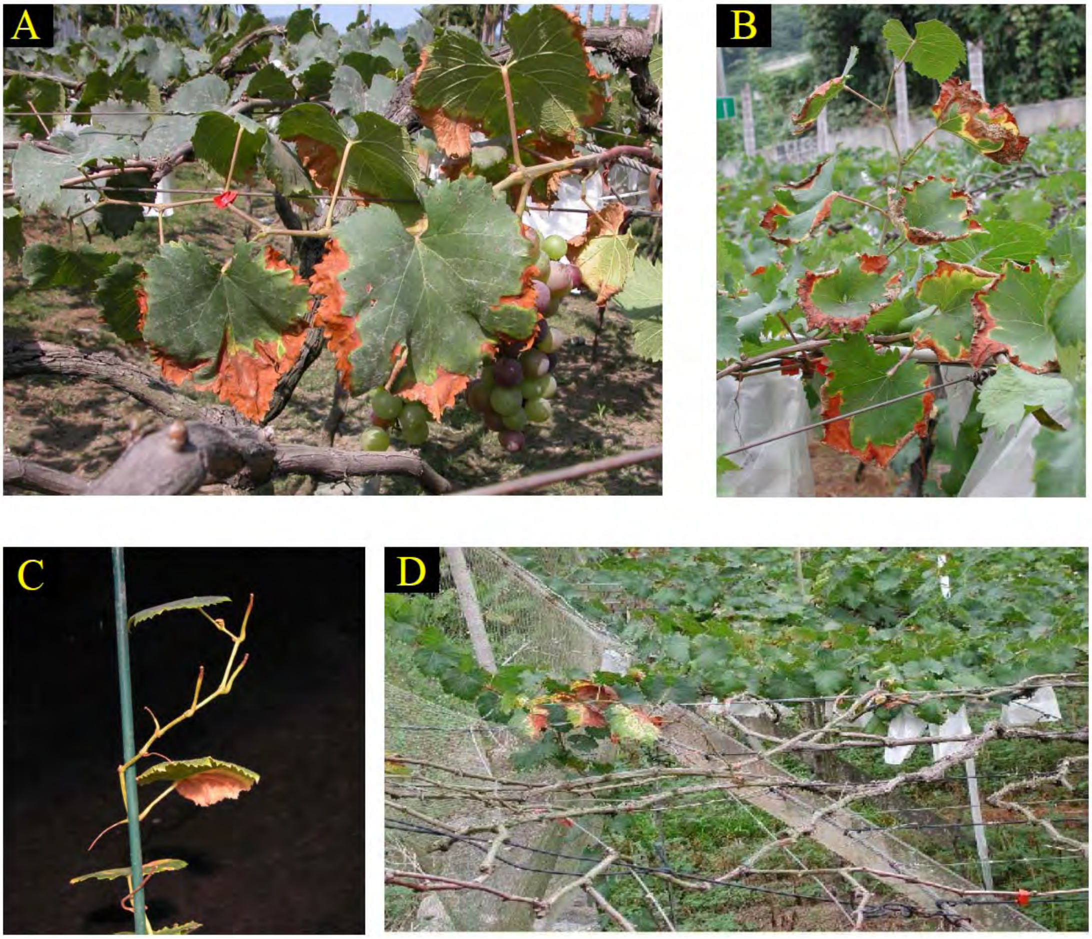


圖 11. 葡萄皮爾斯病的病徵。(A) 葡萄果實轉色期自枝條下位葉顯現典型葉緣焦枯病徵。(B) 枝條葉片系統性葉緣焦枯病徵。(C) 罹病枝條葉片提早落葉但葉柄暫留在枝條上。(D) 罹病葡萄植株呈現樹勢衰弱枯死現象。

Fig. 11. Symptoms of Pierce’s disease of grape: typical symptom of leaf scorch starting from the basal leaves of cane during the fruit color change stage (A), systemic symptoms of leaf scorch progressing along the whole cane (B), early leaf drop with petioles remain attached to the cane (C), and decline in vigour and dieback of diseased grape (D).

Xylella fastidiosa 的媒介昆蟲生態學與傳病機制

段淑人[1*] 張沛文[1] 石憲宗[2] 鄧文玲[3] 蘇秋竹[4] 馮鈞育[4]

[1]國立中興大學昆蟲學系
[2]農委會農業試驗所應用動物組
[3]國立中興大學植物病理學系
[4]農委會農業藥物毒物試驗所農藥應用組
*通訊作者 e-mail: sjtuan@dragon.nchu.edu.tw

摘 要

果樹木質部難養菌病害中最受矚目的即是由 *Xylella fastidiosa* 引起的細菌性病害，此菌爲革蘭氏陰性且端部長有纖毛。它侷限於植物木質部導管中繁殖，並造成水份阻塞而產生植物急速缺水、焦枯的病徵。全球重要的經濟果樹病害如葡萄皮爾氏病 (Pierce's disease) 及柑桔斑駁黃化病 (citrus variegated chlorosis) 即由此菌造成。褐透翅尖頭葉蟬 (*Homalodisca vitripennis*) 入侵美國加州後，即成爲皮爾氏病的主要媒介昆蟲，因其具有長距離遷移的能力、雜食性及高發生率，可加速皮爾氏病的擴散，對美國釀酒葡萄產業造成巨大的威脅。近年來我國亦於中部橫山梨園區發現此菌造成梨葉緣焦枯病 (pear leaf scorch) 的案例，經由田間監測與分子檢測結果，推測白邊大葉蟬爲候選媒介昆蟲。由於許多因子均可影響此病害的發生率與嚴重性，在做好防治策略規劃前，必需先對各種影響因子徹底了解，如病原菌的分類、特性、感性植物及中間寄主之物種範圍、媒介昆蟲種類及其生態學、傳病機制與適宜發病的環境條件等。故本篇擬針對葡萄皮爾氏病的蟲媒機制、傳病率與我國梨葉緣焦枯病候選蟲媒白邊大葉蟬之生物學及生態學的研究進度做一報告。

關鍵詞：木質部難養菌、傳病機制、傳播率、褐透翅尖頭葉蟬、葡萄皮爾氏病、梨葉緣焦枯病

前 言

Xylella fastidiosa Wells 是一種木質部難養菌，爲桿狀、革蘭氏陰性細菌，菌體端部具有長短不一之多型性纖毛 (pili of various types)，因侷限於木質部繁殖造成菌落聚集，常在感染後數月菌體嚴重阻塞導管、妨礙水份傳送，引起植株枝條或葉柄末端呈缺水現象，而產生葉片黃化、焦枯、似被火灼燒之病徵。爲害之作物包括多種重要經濟果樹，如葡萄、杏仁、柑桔、咖啡、梨子及其他梨果類樹種，以及夾竹桃、苜蓿與其他園藝花卉種類。其中引起全球矚目的即爲葡萄皮爾氏病 (Pierce's disease, PD)，在美國數個重要的釀酒產業地區均已遭受其威脅 (Hill & Purcell, 1995; Hopkins & Purcell, 2002; Redak *et al.*, 2004)；而另一個由 *X. fastidiosa* 造成具有經濟重要性的果樹病害則爲柑桔斑駁黃化病 (citrus variegated

chlorosis, CVC)，自 1990 年代初期在巴西逐漸擴散至其他柑桔生產國，隨後引發美國柑桔產業的嚴重損失。已有許多品系完成分子鑑定，在美國即有數種不同菌系發生 (Costa *et al*., 2006)。由 *X. fastidiosa* 引起的病害主要發生在北美洲的熱帶或有溫暖冬季的亞熱帶地區，除此依研究報告尚有台灣的梨葉緣焦枯病(pear leaf scorch, PLS) (Leu & Su, 1993) 及南斯拉夫的葡萄皮爾氏病 (Berisha *et al*., 1998)。

葡萄皮爾氏病自 1880 年代起即周期性地造成加州沿岸葡萄園區的經濟損失，然在 1990 年代晚期，因原產於墨西哥北部之褐透翅尖頭葉蟬 (*Homalodisca vitripennis*) (glassy-winged sharpshooter, GWSS) 入侵南加州，更造成嚴重的疫病流行 (Blua *et al*., 1999; Purcell & Saunders, 1999; Varela *et al*., 2001)。隨後又擴遷至亞利桑納州、夏威夷及法屬玻里尼西亞等地區，建立大量棲群而造成皮爾氏病的迅速蔓延，導致釀酒葡萄產業的重大損失。2005-2006 年間德州政府亦針對該蟲的分佈與田間帶菌率進行全面的採集與檢測，經黃色黏板上取得之數千隻褐透翅尖頭葉蟬樣品，以 RT-PCR 分析後僅有 3 個檢體帶有，此意謂褐透翅尖頭葉蟬持續地擴散葡萄皮爾氏病，而德州地區之葡萄園也即將成爲 *X. fastidiosa* 感染之新疫區，造成該疫病之持續擴散中 (Hail *et al*., 2010)。感病葡萄株可能在受病原菌侵入後數個月才逐漸呈現病徵，包括葉緣黃化、赤褐色，至全葉焦枯脫落只剩葉柄，藤莖呈不規則木質化而留下小區域的綠色條斑，即將成熟的果粒整串乾燥懸吊於樹上，植株呈現矮化、短藤、小葉或新芽變形等 (Varela *et al*., 2001)。由於許多因子均會影響 *Xylella* 病害發生的頻率及嚴重性，故對於該菌系特性、感性寄主及替代寄主植物物種、媒介昆蟲之生物及生態特性、環境氣候對媒介昆蟲與病勢的發展，以及蟲媒之傳病機制等均需詳加了解，以利累積擬訂防治策略時之必備要素。在台灣近年來已於中部橫山梨果園陸續發現由 *X. fastidiosa* 感染之葉緣焦枯病疫區，在數年的監測及分子檢測數據中呈現木質部取食者白邊大葉蟬 *Kolla paulula* (Walker) 可能爲本病之媒介昆蟲。本篇即針對國外數種葉蟬媒介 *Xylella* 病害的傳播機制、傳播率進行探討，並報告我國梨葉緣焦枯病候選蟲媒白邊大葉蟬之生物學及生態學。

媒介昆蟲寄主營養與其食性、生長發育之研究

植物木質部汁液爲貧瘠的胺基酸流質，含有多於 80% 的水與少數無機鹽類離子所組成。因此木質部取食者 (xylem feeder) 爲了能夠維持生長與繁殖，勢必演化出特殊的行爲及生理適應；包括大量的取食植物汁液、高效率地吸收胺基酸、及頻繁遊走於各寄主植物間 (Tipping *et al*., 2004; Mizell *et al*., 2008)。也由於一般木質部取食者僅能吸食植株木質部汁液的水份與無機鹽類離子，通常其寄主範圍相對較爲廣泛。褐透翅尖頭葉蟬即是一種相當雜食的昆蟲，可取食超過 100 種隸屬 37 科的植物，不同的寄主植物可影響褐透翅尖頭葉蟬卵的孵化率、若蟲發育時間、存活率、及雌蟲之產卵量；混和多種植物共同飼育褐透翅尖頭葉蟬，將可提高產卵量及有效建立室內族群 (Hoddle *et al*., 2003; Chen *et al*., 2010)。葉蟬在若蟲期與成蟲期具有不同的營養需求，能提供若蟲完整發育的植物種類遠遠超過成蟲會取食利用的，通常成蟲會選擇胺基酸較豐富的寄主植物取食，對於其繁殖及生

命維持佔有相當大的重要性，然而實驗室內的生態研究，均限制了褐透翅尖頭葉蟬寄主植物選擇的多樣性 (Russell *et al.*, 2003; Brodbeck *et al.*, 2007; Mizell *et al.*, 2008)。除了寄主植物之營養成份對褐透翅尖頭葉蟬之生理表現有影響外，其生活史中各時期之發育時間和壽命可受性別及生長季節影響，夏季雌、雄蟲平均壽命分別爲 77.1 天及 21.5 天，冬季雌、雄蟲分別爲 168.6天及 140.7天；而壽命與植物營養程度及一些環境因子決定了雌蟲一生的產卵量，個體間並有相當大的變異，其中又以冬季的平均產卵量 264.5 粒多於夏季產卵量186.7粒。在冬季雌蟲的卵黃形成作用受到延遲，產卵前期由夏季的 13.2 天增至74.2天；而產卵期、產卵後期及產卵量在兩個季節則沒有顯著差異。大量飼育時族群密度影響著若蟲發育時間、存活率及雌蟲產卵量；夏季若蟲發育時間隨著飼育密度增加而延長，平均爲 37.4 天、冬季若蟲平均發育時間則爲 187.8 天 (Lauzière & Sétamou, 2010)。

Xylella 病害的傳播是藉由取食木質部之半翅目昆蟲，在刺吸植株時將咽頭內附著繁殖之菌體注入寄主植物導管而產生感染源。雖然少數的沫蟬科 (Cercopidae) 昆蟲亦可傳播此類病害，但最主要的媒介昆蟲大多屬於葉蟬亞科 (Cicadellinae)，其均有自植株獲毒並傳毒的能力。早於 30 年前，已有 9 屬 28 種葉蟬經確認爲美國地區葡萄皮爾氏病的媒介昆蟲 (Severin, 1950; Nielson, 1968; 1979)。整合褐透翅尖頭葉蟬、藍綠尖頭葉蟬 (*Graphocephala artropunctata* (Signoret))、綠尖頭葉蟬 (*Draeculacephala minerva* Ball)、紅首尖頭葉蟬 (*Xyphon fulgida* Nottingham) 及數種沫蟬的傳毒率、繁殖棲所、寄主植物、發生頻率、分散能力等，確認褐透翅尖頭葉蟬對病害擴散之威脅性最高 (Varela *et al.*, 2001)。而柑桔斑駁黃化病亦可由 10 屬 11 種葉蟬傳播 (Krugner *et al.*, 2000)。因此有數種木質部取食性葉蟬，因具高效率傳播 *Xylella* 病害之能力，而被視爲重要的農業害蟲。

Xyella fastidiosa 之寄主植物範圍及媒介昆蟲傳播率之研究

蟲媒植物病害的傳播率高低，依媒介昆蟲種類及寄主植物品系之不同組合而有很大的變異，包括媒介昆蟲獲取及傳播病原菌的能力 (包含在蟲體內繁殖的效率)、植物本身對病菌的感受性、以及其與植物間的交互關係 (Purcell, 1980; 1989)。以綠葉蟬及藍綠葉蟬而言，後者在葡萄皮爾氏病的傳毒效率遠高於前者，但在苜蓿植株上的傳毒效率則相反。在杏樹及梨樹上 *Xylella* 病害的傳播效率遠遠低於葡萄，且甜橙植株內的 *X. fastidiosa* 菌體密度約爲葡萄植株內的百分之一 (Severin, 1949; Turner & Pollard, 1955; Purcell, 1979, 1980; Almeida *et al.*, 2001)。而 *X. fastidiosa* 菌在罹病柑桔葉柄導管中成功建立菌落的機率僅 6.4-13.5% 亦遠低於葡萄中的 40% (Mollenhauer & Hopkins, 1976; Alves *et al.*, 2004)。經調查發現加州 Temecula 山谷之葡萄皮爾氏病發生的頻度及嚴重程度，與葡萄園和柑桔園鄰近程度有密切關係，即使褐透翅尖頭葉蟬往返於兩種果園間取食，但未見柑桔感染 *X. fastidiosa* 病害的病徵出現。再度印證葡萄與柑桔對 *X. fastidiosa* 菌種有不同的感受性及忍受程度，但柑桔仍可保有該菌使褐透翅尖頭葉蟬得以獲毒而增加葡萄罹病的機會 (Bi *et al.*, 2007)。新羽化之褐透翅尖頭葉蟬成蟲的獲毒與傳毒效

率高於田間採集之老齡成蟲，成蟲獲毒與接種時間於一小時內即可完成，接種處理時間愈長則傳毒成功率愈高，然獲毒處理時間一旦超過 6 小時後，其獲毒率不會隨之顯著增加 (Almeida & Purcell, 2003)。

媒介昆蟲對寄主植物之取食偏好性亦會影響自罹病株獲毒的效率，偏好性較低之植物無法使葉蟬久停、大量刺吸，故降低獲毒與傳毒的菌體濃度。接種相同濃度菌體時，各植物體內繁殖菌體之速度亦決定葉蟬獲毒之成功率，細菌量愈高則產生愈高的傳毒率，以葡萄柚而言，接種後 10 天植株內細菌量自 5×10^5 CFU/g 增至 25 天之 5×10^8 CFU/g，而傳毒率亦由 4.5% 提升至 55% (Hill & Purcell, 1997)。以相同的媒介昆蟲進行 *Xylella* 病害傳播，發現杏樹的 *X. fastidiosa* 菌量及傳播率均不如葡萄 (Almeida & Purcell, 2003)，故植物病害之傳播率受媒介昆蟲、植株品系及菌系三者變異度的影響甚鉅 (Redak *et al.*, 2004)。褐透翅尖頭葉蟬可取食上百種植物，分別提供其全年生長發育與繁殖之營養所需 (Mizell *et al.*, 2008)，因爲具有強飛行能力、多元的寄主植物、高取食量及頗長的成蟲期，造成它有較大的機會獲取不同品系的 *X. fastidiosa* 菌體，而成爲最優勢的媒介 *Xylella* 病的害蟲。將褐透翅尖頭葉蟬連續曝露於感染皮爾氏病的葡萄及葉緣焦枯病的夾竹桃之環境中，可利用 PCR 測得單獨獲得一種菌體且成功繁殖的分別有 29% (PD) 及 41% (OLS)，而同時測得兩種菌系的葉蟬僅有 7%，可傳其中一種菌系至健康株者約爲 39%，且無任何蟲體可同時傳兩種病害，即使經取食非寄主植物長達一週，褐透翅尖頭葉蟬體內仍保有 *X. fastidiosa* 菌體 (Costa *et al.*, 2006)。不同植物木質部汁液可能對 *X. fastidiosa* 菌體的生長、聚集與附著型式均有影響，採自葡萄柚、柑桔、檸檬的木質部汁液造成菌體結集成一團白色的菌塊，而取自於葡萄藤的木質部汁液則使得 *X. fastidiosa* 菌體產生一層厚而明顯易見的生物膜 (biofilm)，且經接種數天後發現 *X. fastidiosa* 菌體在柑桔、檸檬植株內的密度低於葡萄，且柑桔木質部汁液亦呈現顯著抑制生物膜形成的情形，此將影響植株對病菌之感受性及媒介昆蟲傳毒成功率 (Bi *et al.*, 2007)。而媒介昆蟲對於健康株或罹病株亦有不同之取食偏好性，即在植株上之停留取食時間或移動頻度有所差異，因而影響病原菌擴散的速率 (Sisterson, 2008)。

葉蟬媒介 *Xyella fastidiosa* 之傳播機制與生物膜之形成

葡萄皮爾氏病的病原 *X. fastidiosa* 菌體經常可自田間採集之藍綠尖頭葉蟬的前腸分離出來。在光學或掃描式電子顯微鏡下觀察受感染之葉蟬，可見該菌附著於蟲體食料腔及食道上呈繁殖狀態。藍綠尖頭葉蟬在取食罹病葡萄時，於獲毒後 2 小時即可成功傳毒，如此短暫的潛伏期顯示，高效率的葉蟬一旦獲得病菌時，只需利用取食行爲即能成爲有效的傳毒者，不需要在蟲體內循環、或等待長時間的繁殖。若蟲經過蛻皮即消失傳毒能力，但只要再度取食罹病株即可獲毒，此菌不會經由卵傳播，且只要成蟲感染獲毒，即可持續傳播病菌，最長可達數個月，且在獲毒兩週後即可於食料腔及前食料腔發現如地毯般覆蓋的菌層 (Severin, 1949; Freitag, 1951; Purcell, 1979; Purcell *et al.*, 1979; Purcell & Finlay, 1979; Almeida & Purcell, 2003)。巴西柑桔園內三種媒介昆蟲 *Acrogonia citrina*,

Oncometopia facialis 及 *Dilobopterus costalimai* 於獲毒 48 小時並培養二週後，發現 *X. fastidiosa* 菌體以側邊附著於食料腔、以菌體端部附著於前食料腔 (Alves *et al.*, 2008)。當葉蟬刺吸罹病植株時，存在木質部汁液中之 *X. fastidiosa* 菌體可以 5 to 50 cm/s 的流速經過蟲體前腸，此流動可造成部份附著的菌體於生物膜形成前脫離前腸內壁表皮，在初期是以側向附著，但菌落大量形成時則以端部附著蟲體表皮 (Almeida & Purcell, 2006)。

X. fastidiosa 在植株木質部內與植物之多醣類發生作用，同時菌體蛋白質參與細胞附著、酵素分解果膠聚葡萄糖及纖維素等作用，菌體可分解利用植株之養分作爲碳源 (Roper *et al.*, 2007)。類似的狀況亦發生在媒介昆蟲的前腸壁，*X. fastidiosa* 可消化蟲體表皮結構之多醣類成爲營養生長之原料，例如果膠，此等碳源亦會影響傳毒機制與效率 (Killiny & Almeida, 2009a)。昆蟲體結構性多醣類以纖維素及幾丁質爲最主要的成份，也是許多微生物生長時重要的有機碳、氮源，可供其在環境中存活，有助於其在寄主與媒介昆蟲體中生存、附著與傳播的元素，但某些醣胺類如 *N*-acetylglucosamine 亦會抑制細菌對蟲媒的黏附 (Gooday, 1990; Keyhani & Roseman, 1999; Killiny & Almeida, 2009b)。幾丁質亦可誘發細菌表現型的改變，顯著增強黏附性，故 *X. fastidiosa* 菌不僅可利用蟲媒前腸壁爲碳源，更可啓動其基因調節，有效表現生物膜以利菌體在蟲媒體內之附著、生長、繁殖，而增進傳毒效率 (Killiny *et al.*, 2010)。*X. fastidiosa* 在媒介昆蟲與寄主植物體內表現高度進化的適存策略，生物膜的形成包括黏附素 (Adhesins)、血球凝集素 (Hemagglutinins) 及細胞外多醣類 (Extracellular polysaccharides, EPS) 的基因表現等都由特定訊號傳導的分子主導，此機制對蟲媒與植株受感染及傳毒的成功率有決定性之關連 (Chatteriee *et al.*, 2008)。生物膜的功用尚有抵抗外來抗菌物質，它的形成極爲複雜，包括忌水與親水性、結構與粗糙度，雖然忌水性及粗糙的表面有助於菌體的附著力，但生物膜表面的功能基才是最重要的特性決定因子 (Lorite *et al.*, 2011)。

台灣梨葉緣焦枯病之媒介昆蟲生態學研究

梨葉緣焦枯病 (pear leaf scorch) 爲台灣特有之細菌性病害，普遍發生於中部地區橫山梨栽植產區。其病原經鑑定爲 *Xylella fastidiosa* strain PLSB (pear leaf scorch bacterium, PLSB) (Leu & Su, 1993)，此細菌之生理生化特性及在植物上造成的病理特性非常相似於國外報導的 *X. fastidiosa* Wells，可在植物的導管內生長繁殖，造成導管堵塞、阻斷水分輸送，導致患部因缺水而枯萎，嚴重時可造成病株死亡。但在後續試驗中應用血清反應 (serological tests) 與 DNA 指紋圖譜分析不同寄主來源的 *X. fastidiosa* 菌株後，發現台灣梨樹上分離所得的 PLSB 與其他寄主來源的 *X. fastidiosa* 菌株間有明顯差異 (Leu *et al.*, 1998; Su *et al.*, 2008a)。利用 16S rDNA 序列及 ITS 序列確定台灣梨葉緣焦枯病菌的分類地位，發現其基因序列與國外已知的 *X. fastidiosa* 3 個亞種 (subsp. *piercei*, subsp. *Multiplex* 以及 subsp. *pauca*) 之相似值低於 88.4% (Schaad *et al.*, 2004)。故推論 PLSB 與其他寄主植物來源之 *X. fastidiosa* 菌株親緣關係較遠，是否爲新種或新亞種則須再確

認。自 2010 年 7 月起每二週，於后里外埔梨葉緣焦枯病疫區進行可疑病媒蟲物種調查，以黃色黏蟲板監測梨園與周邊雜草區之蟲相，發現其中木質部取食者 (xylem feeders) 以白邊大葉蟬 *Kolla paulula* (Walker) 物種豐度最具優勢。目前於田間收集之上千隻木質部取食者昆蟲 (xylem feeding insects)，其中 2 隻白邊大葉蟬 (*Kolla paulula*) 體內可偵測出帶有病原菌序列的陽性反應 (正反應)，再選擇其中一隻分析其 16S rRNA 基因序列，與 Su *et al.* (2008a, b) 登錄於 NCBI 之 PLSB 有高達 99.9% 以上的相似值，認定其可能爲傳播作物木質部導管細菌性病害之媒介昆蟲，目前已將本種葉蟬列爲具傳播 PLSB 的潛在媒介昆蟲 (potential vector)。

白邊大葉蟬的寄主範圍相當廣，小花蔓澤蘭、大花咸豐草、紫花霍香薊、鴨跖草 (Shih *et al.*, 2009) 與蟛蜞菊等常見雜草，皆可提供其生長所需之養分。本研究已完成在實驗室建立大花咸豐草及蟛蜞菊單隻飼育白邊大葉蟬方法，同時觀察其生活史、各發育期之存活率，並已進行室內定溫及室外變溫條件下之生命表實驗，了解白邊大葉蟬之基礎生態學資料。分析其完成世代所需時間、存活率、性比率及繁殖力等，並依據其內在增殖率探討其可能造成爲害之嚴重性。由試驗結果得知其基礎生態學部份，在室內 25 ± 1℃ 恆溫箱中，由卵發育至成蟲所需之平均時間爲 43.29 天，成蟲前期死亡率爲 27.2%。在春季室外變溫條件下，若蟲一至五齡平均發育時間分別爲 8.15、6.12、7.16、8.09 以及 10.02 天；而卵的發育期平均 13.54 天，總計成蟲前期平均爲 53.04 天，較室內 25±1℃ 恆溫下之發育速率爲慢。成蟲前期死亡率爲 21.1%，其中又以卵期死亡率最高達 18.4%，待卵順利孵化後若蟲易於存活，各齡若蟲之存活率分別爲 100、100、99.1、100 及 98.2%。成蟲羽化後，雌雄性比爲 1: 1.14。雌蟲產卵前期平均 6.85 天，平均一生產卵量達 91.26 ± 38.91 粒，個體間差異極大。各族群介量統計如下，內在增殖率 (r) 爲 0.0473，淨增殖率 (R_0) 爲 33.62，終極增殖率 (λ) 爲 1.0485，平均世代時間 (T) 爲 74.27 天。經由實驗結果顯示，白邊大葉蟬族群在春夏之際完成一個世代所需時間約需 83.11 天；又因其雌成蟲產卵期平均長達一個半月，因此可預知田間白邊大葉蟬族群有世代交疊的現象，此有助於其在田間傳播病害。

結 語

媒介昆蟲、寄主植物與病原菌三者間之交互作用可影響病害傳播率及疫病發生嚴重性，而環境中諸多生物因子與非生物因子亦會對媒介昆蟲和植物生長勢產生發育、行爲及生態表現上的改變。欲掌控蟲媒病害之發生，則必需先對各種影響因子徹底了解，如病原菌的生物特性、媒介昆蟲物種特性、傳病機制及田間棲群動態、植物病原菌中間寄主之物種範圍、與適宜發病的環境條件等，才能做好防治策略之整體規劃。Bextine *et al.* (2004) 欲利用藥劑對昆蟲取食行爲產生負面影響以防治病害的蔓延，對褐透翅尖頭葉蟬施用取食阻斷劑如派滅淨 (Pymetrozine)，結果雖可阻礙其取食持續性、降低其蜜露排遺量，卻反而造成感病植株的增加，故使用不適宜之藥劑不但不能防治媒介昆蟲，可能還會導致傳播率的提升。故在策訂防治措施時應選用適當藥劑，如可利用系統性殺蟲劑與去除

罹病株或感性品種，可為有效防治蟲媒病害之模式 (Krewer *et al.*, 2002; Mitchell *et al.*, 2009)。

由農委會動植物防疫檢疫局支持中興大學昆蟲學系與植病學系、彰化師範大生物學系、農業試驗所應用動物組及農業藥物毒物試驗所農藥應用組所組成之研究團隊，進行「梨樹葉緣焦枯病之病原鑑定及其媒介昆蟲之生態調查與傳病效率研究」已邁入第二年，目前完成蟲媒物種鑑定及生態調查、病菌分子生物鑑定、田間可疑中間寄主植物之帶菌率檢測、候選蟲媒生物學及生態學研究。另同時持續進行其寄主範圍、傳毒機制及傳毒率等試驗，以針頭穿刺植物莖基部製造傷口並滴上細菌懸浮液的方式在梨樹及其他果樹與雜草植株上進行人工接種菌液。由實驗得知梨樹葉緣焦枯病菌亦可在日日春維管束中增殖及移行，未來將持續進行葡萄、煙草、大花咸豐草及蟛蜞菊等植物的接種工作，將確認本菌的寄主專一性，以做為防治該媒介昆蟲及降低病害傳播之參考。

引用文獻

Almeida, R. P. and A. H. Purcell. 2003. Transmission of *Xylella fastidiosa* to grapevines by *Homalodisca coagulata* (Hemiptera: Cicadellidae). J. Econ. Entomol. 96: 264-271.

Almeida, R. P. P. and A. H. Purcell. 2006. Patterns of *Xylella fastidiosa* colonization on the precibarium of leafhopper vectors relative to transmission to plants. Ann. Entomol. Soc. Am. 99: 884-890.

Almeida, R. P., E. F. Pereira, A. H. Purcell, and J. R. S. Lopes. 2001. Multiplication and movement of a citrus strain of *Xylella fastidiosa* within sweet orange. Plant Dis. 85: 382-386.

Alves, E, R. C. Marucci, J. R. S. Lopes, and B. Leite. 2004. Leaf symptoms on plum, coffee, and citrus and the relationship with the extent of xylem vessels colonized by *Xylella fastidiosa*. J. Phytopathol. 152:291-297.

Alves, E., B. Leite, R. C. Marucci, S. F. Pascholati, J. R. Lopes, and P. C. Andersen. 2008. Retention sites for *Xylella fastidiosa* in four sharpshooter vectors (Hemiptera: Cicadellidae) analyzed by scanning electron microscopy. Curr. Microbiol. 56: 531-538.

Berisha, B., Y. D. Chen, G. Y. Zhang, B. Y. Xu, and T. A. Chen. 1998. Isolation of Pierce’s disease bacteria from grapevines in Europe. Eur. J. Plant Pathol. 104: 427-33.

Bextine, B. R., D. Harshman, M. C. Johnson, and T. A. Miller. 2004. Impact of pymetrozine on glassy-winged sharpshooter feeding behavior and rate of *Xylella fastidiosa* transmission. J. Insect Sci. 4: 34-39.

Bi, J. L., C. K. Dumenyo, R. Hernandez-Martinez, D. A. Cooksey, and N. C. Toscano. 2007. Effect of host plant Xylem fluid on growth, aggregation, and attachment of *Xylella fastidiosa*. J. Chem. Ecol. 33: 493-500.

Blua, M. J., P. A. Phillips, and R. A. Redak. 1999. A new sharpshooter threatens both crops and ornamentals. Calif. Agric. 53: 22-25.

Brodbeck, B. V., P. C. Andersen, R. F. Mizell, S. Oden, and R. F. Mizell. 2007. Preference-performance linkage of the xylem feeding leafhopper, *Homalodisca*

vitripennis (Hemiptera: Cicadellidae). Environ. Entomol. 36: 1512-1522.

Chatterjee, S., R. P. P. Almeida, and S. Lindow. 2008. Living in two worlds: The plant and Insect lifestyles of *Xylella fastidiosa.* Annu. Rev. Phytopathol. 46: 243-271.

Chen, W., R. A. Leopold, and M.A. Boetel. 2010. Host plant effects on development and reproduction of the glassy-winged sharpshooter, *Homalodisca vitripennis* (Homoptera: Cicadellidae). Environ . Entomol. 39: 1545-1553.

Costa, H. S., A. Guzman, R. Hernandez-Martinez, C. Gispert, and D. A. Cooksey. 2006. Detection and differentiation of *Xylella fastidiosa* strains acquired and retained by glassy-winged sharpshooters (Hemiptera: Cicadellidae) using a mixture of strain-specific primer sets. J. Econ. Entomol. 99: 1058-1064.

Freitag, J. H. 1951. Host range of Pierce's disease virus of grapes as determined by insect transmission. Phytopathology 41: 920-934.

Gooday, G. W. 1990. The ecology of chitin degradation. Adv. Microb. Ecol. 11: 387-430.

Hail, D., F. Mitchell, I. Lauziere, P. Marshall, J. Brady, and B. Bextine. 2010. Detection and analysis of the bacterium, *Xylella fastidiosa*, in glassy-winged sharpshooter, *Homalodisca vitripennis*, populations in Texas. J Insect Sci. 10 (168): 1-11.

Hill, B. L. and A. H. Purcell. 1995. Multiplication and movement of *Xylella fastidiosa* within grapevine and four other plants. Phytopathology 85: 1368-1372.

Hill, B. L. and A. H. Purcell. 1997. Populations of *Xylella fastidiosa* in plants required for transmission by an efficient vector. Phytopathology 87: 1197-1201.

Hoddle, M. S., S. V. Triapitsyn, and D. J. W. Morgan. 2003. Distribution and plant association records for *Homalodisca coagulata* (Hemiptera: Cicadellidae) in Florida. Fla. Entomol. 86: 89-91.

Hopkins, D. L. and A. H. Purcell. 2002. *Xylella fastidiosa*: cause of Pierce's disease of grapevine and other emergent diseases. Plant Dis. 86: 1056–1066.

Keyhani, N. O. and S. Roseman. 1999. Physiological aspects of chitin catabolism in marine bacteria. Biochim. Biophys. Acta 1473: 1008-1022.

Killiny, N. and R. P. P. Almeida. 2009a. Host structural carbohydrate induces vector transmission of a bacterial plant pathogen. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 106: 22416-22420.

Killiny, N. and R. P. P. Almeida. 2009b. *Xylella fastidiosa* afimbrial adhesins mediate cell transmission to plants by leafhopper vectors. Appl. Environ. Microbiol. 75: 521-528.

Killiny, N., S. S. Prado, and R. P. P. Almeida. 2010. Chitin utilization by the insect-transmitted bacterium *Xylella fastidiosa.* Appl. Environ. Microbiol. 76: 6134-6140.

Krewer, G, J. D. Dutcher, and C. J. Chang. 2002. Imidacloprid insecticide slows development of Pierce's disease in bunch grapes. J. Entomol. Sci. 37: 101-112.

Krugner, R., M. T. V. Lopes, J. S. de Santos, M. J. G. Beretta, and J. R. S. Lopes. 2000. Transmission efficiency of *Xylella fastidiosa* to citrus by sharpshooters and identification of two new vector species. p. 423. in the Proceedings of the 14th Conference of the International Organization of Citrus Virologists., Campinas, SP,

Brazil.

Lauzière, I. and M. Sétamou. 2010. Life history studies of *Homalodisca vitripennis* (Hemiptera: Cicadellidae), a vector of Pierce's disease of grapevine. Ann. Entomol. Soc. Am. 103: 57-65.

Leu, H. H., Leu, L. S., and Lin, C. P. 1998. Development and application of monoclonal antibodies against the causal bacterium of pear leaf scorch, Xylella fastidiosa. J. Phytopathol. 146: 31-37.

Leu, L. S. and C. C. Su. 1993. Isolation, cultivation, and pathogenicity of *Xylella fastidiosa*, the causal bacterium of pear leaf scald in Taiwan. Plant Dis. 77: 642-46.

Lorite, G. S., C. M. Rodrigues, A. A. de Souza, C. Kranz, B. Mizaikoff, and M. A. Cotta. 2011. The role of conditioning film formation and surface chemical changes on *Xylella fastidiosa* adhesion and biofilm evolution. J. Colloid and Interface Science 359: 289-295.

Mitchell, F. L., J. Brady, B. Bextine, and I. Lauziere. 2009. Seasonal increase of *Xylella fastidiosa* in hemiptera collected from central Texas vineyards. J. Econ. Entomol. 102: 1743-1749.

Mizell, R. F., C. Tipping, P. C. Andersen, B. V. Brodbeck, W. B. Hunter, and T. Northfield. 2008. Behavioral model for *Homalodisca vitripennis* (Hemiptera: Cicadellidae): optimization of host plant utilization and management implications. Environ Entomol. 37: 1049-1062.

Mizell, R. F., P. C. Andersen, C. Tipping, and B. Brodbeck. 2003. *Xylella fastidiosa* diseases and their leafhopper vectors. Department of Entomology and Nematology, ENY-683: 1-7.

Mollenhauer, H. H. and D. L. Hopkins. 1976. Xylem morphology of Pierce’s disease infected grapevines with different levels of tolerance. Physiol. Plant Pathol. 9: 95-100.

Nielson, M. W. 1968. The leafhopper vectors of phytopathogenic viruses (Homoptera: Cicadellidae). Taxonomy, biology, and virus transmission. U.S. Dep. Agric. Tech. Bull. 1382: 1-386.

Nielson, M. W. 1979. Taxonomic relationships of leafhopper vectors of plant pathogens. pp. 3-27.

Purcell, A. H. 1979. Control of the bluegreen sharpshooter *Graphocephala atropunctata* and effects on the spread of Pierce’s disease of grapevines. J. Econ. Entomol. 72: 887-892.

Purcell, A. H. 1979. Leafhopper vectors of xylem-borne plant pathogens. pp. 603-625. *in*: Leafhopper Vectors and Plant Disease Agents (K. Maramorosch & K. Harris ed.) New York.

Purcell, A. H. 1980. Almond leaf scorch: leafhopper and spittlebug vectors. J. Econ. Entomol. 73: 834-838.

Purcell, A. H. 1989. Homopteran transmission of xylem-inhabiting bacteria. pp. 243-266. *in*: Advances in Disease Vector Research. (Harris, K. F. ed.) Springer-Verlag. New York.

Purcell, A. H. and A. H. Finlay. 1979. Evidence for noncirculative transmission of

Pierce's disease bacterium by sharpshooter leafhoppers. Phytopathology 69: 393-395.

Purcell, A. H. and S. R. Saunders. 1999. Glassywinged sharpshooters expected to increase plant disease. Calif. Agric. 53: 26-27.

Purcell, A. H., A. H. Finlay, and D. L. McClean. 1979. Pierce's disease bacterium: mechanism of transmission by leafhopper vectors. Science 206:839-841.

Redak, R. A., A. H. Purcell, J. R. S. Lopes, M. J. Blua, R. F. Mizell III, and P. C. Andersen. 2004. The biology of xylem fluid–feeding insect vectors of *xylella fastidiosa* and their relation to disease epidemiology. Annu. Rev. Entomol. 49: 243-270.

Roper, M. C., L. C. Greve, J. G. Warren, J. M. Labavitch, and B. C. Kirkpatrick. 2007. *Xylella fastidiosa* requires polygalacturonase for colonization and pathogenicity in *Vitis vinifera* grapevines. Mol. Plant Microbe Interact. 20: 411-419.

Sandanayaka, W. R. and E. A. Backus. 2008. Quantitative comparison of stylet penetration behaviors of glassy-winged sharpshooter on selected hosts. J. Econ. Entomol. 101: 1183-1197.

Schaad, N. W., E. Pastnikova, G. Lacey, M. Fatmi, and C. J. Chang. 2004. *Xylella fastidiosa* supspecies: *X. fastidiosa* subsp. piercei, subsp. nov., *X. fastidiosa* subsp. multiplex subsp. nov., and *X. fastidiosa* subsp. pauca subsp. nov. Syst. Appl. Microbiol. 27: 290-300.

Severin H. H. P. 1950. Spittle-insect vectors of Pierce's disease virus. II. Life history and virus transmission. Hilgardia 19: 357-382.

Severin, H. H. P. 1949. Transmission of the virus of Pierce's disease by leafhoppers. Hilgardia 19: 190-202.

Shih, H. T., C. C. Su, C. Y. Feng, C. C. Fanjiang, W. F. Hung, and L. Y. Hung. 2009. Studies on the morphology, ecology, and host range for *Kolla paulula* (Walker, 1858) (Hemiptera: Membracoidea: Cicadellidae: Cicadellinae). Formosan Entomol. 29: 353. (in Chinese)

Sisterson, M. S. 2008. Effects of insect-vector preference for healthy or infected plants on pathogen spread: insights from a model. J. Econ. Entomol. 101: 1-8.

Su, C. C., W. J. Yang, C. Y. Feng, S. T. Hsu, and K. C. Tzeng. 2008a. The application of DNA fingerprintings amplified by arbitrary primers in differentiating pear leaf scorch bacterium from other *Xylella fastidiosa* strains. Plant Pathol. Bull. 17: 261-269.

Su, C. C., W. J. Yang, S. T. Hsu, and K. C. Tzeng. 2008b. Specific detection of *Xylella fastidiosa* strains causing pear leaf scorch by polymerase chain reaction. Plant Pathol. Bull. 17: 183-194.

Tipping, C., R. F. Mizell, and P. C. Andersen. 2004. Dispersal adaptations of immature stages of three species of leafhopper (Hemiptera: Auchenorrhyncha: Cicadellidae). Fla. Entomol. 87: 372-379.

Turner, W.F. and H. N. Pollard. 1955. Additional leafhopper vectors of phony peach. J. Econ. Entomol. 48: 771-772.

Varela, L. G., R. J. Smith, and P. A. Phillips. 2001. Pierce's disease. University of California Agricult.

Ecology and transmission mechanism of leafhoppers vectoring *Xylella fastidiosa*

Shu-JenTuan [1*], Pei-Wen Chang [1], Hsien-Tzung Shih [2], Wen-Ling Deng [3], Chiou-Chu Su [4], and Chun-Yu Feng [4]

[1]Department of Entomology, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan
[2] Applied Zoology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, COA, Taichung, Taiwan
[3] Department of Plant Pathology, National Chung-Hsing University, Changhua, Taiwan
[4] Pesticides Application Division, Taiwan Agricultural Chemicals and Toxic Substances Research Institute, COA, Taichung, Taiwan

Abstract

Xylella fastidiosa Wells (Xanthomonadales: Xanthomonadaceae) is a gram-negative and pili-forming bacterial pathogen. The fastidious bacterium colonizes only in xylem tissues and hence causes diseases by blocking water passages in many economically important hosts. The most famous diseases are Pierce's disease (PD) of grapevine and citrus variegated chlorosis (CVC). The glassy-winged sharpshooter leafhopper, *Homalodisca vitripennis* Germar (Hemiptera: Cicadellidae), is a xylophagous insect that is an endemic pest of several economically important plants. *H. vitripennis* has been a major vector of PD in southeastern United States for decades, and has become an important vector of PD in California after its introduction in 1990. Because of its ability for long distance movements, polyphagous behavior, and high frequency of occurrence, it had put much of USA grape production at risk. Recently, this bacterium was reported to cause pear leaf scorch (PLS) disease in central Taiwan. Based on the results of filed inspections and molecular detections, *Kolla paulula* has been considered as the candidate vector for PLS disease. In order to control diseases caused by *X. fastidiosa*, the following factors should be well understood: the characteristics of the pathogen, the susceptible and alternative host plants, the biology and ecology of candidate vectors, the favorable environmental conditions for the pathogens and the vectors. In this article, the ecology of the vectors and their transmission efficacies and mechanism will be discussed.

Key words: *Xylella fastidiosa,* Mechanism of transmission, Transmission efficacy, *Homalodisca vitripennis,* Pierce's disease, Pear leaf scorch

台灣農作物重要植物菌質體病害研究現況

洪挺軒[1,2] 林長平[1]

[1]國立臺灣大學植物病理與微生物學系
[2]通訊作者 e-mail: thhung@ntu.edu.tw

摘 要

植物菌質體 (phytoplasma) 是一種無細胞壁的原核生物，也是重要的植物病原菌，可造成 500 種以上的植物病害。它至今仍無法以人工的培養基進行培養，不易進行研究。植物菌質體引起的植物病徵常與植物病毒病害類似，因此被歸類於似病毒病害 (virus-like disease)，主要可藉由無性繁殖 (vegetative propagation) 與媒介昆蟲如葉蟬 (leafhopper)、飛蝨 (planthopper) 及木蝨 (psyllid) 等來傳播。台灣對植物菌質體病害的研究主要著重在診斷鑑定、傳播生態與病菌基因體等方面，近來也擴展至致病機制的探討。目前台灣較重要的植物菌質體病害包括梨衰弱病、木瓜衰弱病、花生簇葉病、絲瓜簇葉病、甘藷簇葉病、泡桐簇葉病及日日春葉片黃化病等，過去水稻黃萎病與甘蔗白葉病也曾嚴重發生。近年來又陸續在柑橘、馬鈴薯、葡萄與蓮霧發現疑似新的植物菌質體病害，但其致病能力仍在持續研究中。

關鍵詞：植物菌質體、似病毒病害、媒介昆蟲

前 言

植物菌質體 (phytoplasma) 是寄生在植物體內的一種無細胞壁的原核生物，可造成 500 種以上的植物病害，爲重要之植物病原菌。其主要寄生於寄主的韌皮部篩管細胞內，在植物寄主上引起的病徵如枝葉增生、葉片變小、植株矮化、萎凋、葉片黃化 (yellowing)、簇葉 (witches' broom)、花器綠化 (virescence) 與花器葉化 (phyllody) 等病徵。此類病原最早是由 Doi 等學者 (1967) 所發現，他們在桑樹矮化病 (mulberry dwarf)、馬鈴薯簇葉病 (potato witches' broom)、翠菊黃萎病 (aster yellows)、泡桐簇葉病 (paulownia witches' broom) 等罹病篩管細胞中，以電子顯微鏡觀察到不具細胞壁的原核生物，外觀與寄生在動物體內之菌質體 (mycoplasmas) 相似，故稱爲似菌質體 (mycoplasma-like organism, MLO) (Doi *et al.*, 1967)，此名稱一直沿用到 1994 年才被正式更名爲 phytoplasma (Schneider *et al.*, 1995)。

由於植物菌質體至今仍無法以人工的培養基進行培養，不易進行研究，其基因特性也有許多待解的謎團。近二十年來隨著分子生物學的發展，相關學者利用植物菌質體的 16S rRNA (16S ribosomal RNA) 基因序列進行親緣性分析，認爲植物菌質體應歸屬於革蘭氏陽性細菌 (Gram-positive bacteria) 之 Mollicutes 綱，而

且與同一綱之 *Acholeplasma*、*Anaeroplasma* 及 *Asteroplasma* 三個屬的親緣關係較近，與 *Mycoplasma* 及 *Spiroplasma* 的親緣關係則較遠 (Lim & Sears, 1992; Schneider *et al.*, 1993)。爾後 Lee 等學者進一步依據各種植物菌質體的 16S rRNA 基因之 PCR 增幅片段進行「限制酵素酵解片段長度多型性 (restriction fragment length polymorphism, RFLP)」，依其差異將植物菌質體分群，稱爲 16Sr group。到 2006 年爲止，植物菌質體被分成 28 群，並有 40 個以上的亞群 (subgroups) (Lee *et al.*, 2006)。

植物菌質體可藉由無性繁殖體與媒介昆蟲如葉蟬 (leafhopper)、飛蝨 (planthopper) 或木蝨 (psyllid) 等來傳播 (Weintraub & Beanland, 2006; 陳, 2011)。一般而言，植物菌質體的媒介昆蟲幾乎都屬永續性 (persistent) 的帶菌方式，或稱爲循環性 (circulative) 帶菌，亦即媒介昆蟲取食時，植物菌質體會經口針、食道進入腸道，隨後附著並侵入腸道表皮細胞 (epithelial cells) 並可增殖，再進入血體腔 (hemocoel)，轉移至唾腺細胞 (salivary glands) 或其他組織。在唾腺細胞可繼續增殖，當媒介昆蟲取食其他植物寄主時，唾腺中的植物菌質體便可經由口針傳到健康植物上 (Hogenhout *et al.*, 2008)。在蟲體中由獲菌到可以開始傳播植物菌質體之潛伏期依植物菌質體種類之不同有頗大差異，從 7-80 天不等，而且會受到溫度的影響，這些傳播生態的特性與病害防治的成效經常息息相關。

在植物菌質體病害的防治上，首重使用無菌的種苗，再配合移除病株與中間寄主，並以殺蟲劑來防治媒介昆蟲，可防止病害傳播。多年生的高經濟價值罹病作物，可考慮注射四環黴素類的抗生素來減緩病徵，但要注意藥害問題並需進行整體效益評估。

台灣重要的植物菌質體病害之研究概況

目前台灣較重要的植物菌質體病害包括梨衰弱病、木瓜衰弱病、花生簇葉病、絲瓜簇葉病、甘藷簇葉病、泡桐簇葉病及日日春葉片黄化病等，過去水稻黄萎病與甘蔗白葉病也曾嚴重發生，簡要將這些病害的研究概況分述如下：

1. 梨衰弱病 (pear decline, 病原屬於 16SrII & 16SrX groups)

於 1994 年 6 月起首次在台灣中部梨樹栽培區發現，台大植物細菌學研究室證實此病害係由屬於 16SrX group 與 16SrII group 之台灣梨衰弱病菌質體 (PDTW 與 PDTW II) 所引起，隨後並陸續開發出多項 PCR 檢測技術，其中包括 specific booster PCR、multiplex PCR、nested PCR 與 PCR-RFLP 等，可供田間罹病梨株、媒介昆蟲及梨接穗之病原菌檢測 (劉, 2007a)。

爲調查病原的季節消長情況，自 2002 年起進行歷時 3 年之各月份罹病梨樹中 phytoplasma 之 PCR 偵測調查，結果顯示罹病梨樹中之檢出率於春季 3-5 月間開始上升，夏季 6-9 月間爲病原菌檢出率最高，而冬季落葉期之檢出率則降爲零。

藉由中國梨木蝨 (*Cacopsylla chinensis*) 的獲菌與傳菌試驗，證實 PDTW phytoplasma 以及 PDTW II phytoplasma 皆能由中國梨木蝨傳播至梨株；田間罹病梨株枝條可藉由菟絲子將 PDTW phytoplasma 及 PDTW II phytoplasma 傳至日

日春植株，以便於後續之研究。此外，針對罹病梨樹、黔梨木蝨 (*Cacopsylla qianli*) 及中國梨木蝨進行穿透式電子顯微鏡切片觀察，分別於植物之韌皮部薄壁細胞、篩管以及二種蟲體之腸壁組織中，皆觀察到植物菌質體 (劉, 2007b)。

2. 木瓜衰弱病 (papaya dieback, 病原屬於 16SrXII group)

約自 2003 年起，屏東地區木瓜植株出現葉片黃化、葉柄下垂、樹勢衰弱甚而枯死等病徵，經證實是由植物菌質體 (phytoplasma) 所引起 (Bau, 2005; 蘇等, 2006)。罹病木瓜維管束組織內可見疑似植物菌質體的細胞，以 phytoplasma 16S rRNA 基因序列專一性引子進行 PCR，可增幅出預期的 DNA 片段 (556-bp)，經序列分析發現與目前已記載感染木瓜的植物菌質體的數條核苷酸序列有很高的相似度，包括以色列的 papaya phytoplasma (相似度 84.2%)、古巴的 papaya Stolbur phytoplasma (相似度 96.6%)、papaya mosaic phytoplasma (相似度 90.5%) 和 papaya yellow crinckle phytoplasma (相似度 90.5%)。另外與澳洲的 papaya die-back phytoplasma (相似度 98.4%)，推論此木瓜菌質體在分類地位上應屬於Stolbur group (16SrXII)。在感病園區收集到之菱紋葉蟬 (*Hishimonus sellatus*) 及二點葉蟬 (*Cicadulina bipunctella*)，同樣可以偵測到相同的 DNA 片段及序列，因此推論二者極有可能爲其媒介昆蟲。

3. 花生簇葉病 (peanut witches' broom, 病原屬於 16SrII group)

花生簇葉病 (peanut witches' broom, PNWB) 在台灣首先於澎湖及苗栗兩地被發現，目前也可在台灣其他地區發現，其病原經鑑定後，確定是由植物菌質體所引起之病害 (Yang, 1988)。花生罹病株初期呈現花器綠化與節間縮短等病徵，後期則呈黃化、矮化及簇葉。在較低溫季節，病徵較不明顯。在幼苗期感病者，因不能正常開花而無法結實；成株感染者，莢果之質量均差。一般認爲南斑葉蟬 (*Orosius orientalis*) 爲主要的媒介昆蟲，山土豆、賽珠豆、澤苦菜及紫背草可能是其中間寄主。南斑葉蟬在 5-6 月及 9-10 月之密度最高，11 月至翌年 2 月間密度最低。種植前做好清園的工作，種植後預防南斑葉蟬的感染是防治的重點。

花生簇葉病植物菌質體是台灣特殊的植物病原之一，數年來台大植物細菌學研究室率先建立分子檢測技術 (陳, 1994)，且在其基因體的選殖上有很卓著的成果，包括 group II intron (蔡, 2007)、dnaB1/dnaG 基因 (黃, 2007)、rpsT/serS/hflB 基因 (呂, 2009) 等；也發現花生簇葉病菌質體具有一環型質體 (plasmid) pPNWB (魏, 2002)，也發現 pPNWB 之套組數爲一變動值 (李, 2008)。

4. 絲瓜簇葉病 (loofah witches' broom, 病原屬於 16SrVIII group)

絲瓜簇葉病於 1972 年在屏東縣高樹鄉首度發現，經電子顯微鏡觀察發現係由植物菌質體所引起，當時是世界上第一個瓜類植物菌質體病害的新紀錄。爾後又陸續發生越瓜、苦瓜、梨瓜、南瓜、冬瓜等瓜類也發生簇葉病，經試驗證實台灣田間各種瓜類簇葉病可能是由同一病原所引起，而菱紋葉蟬 (*Hishimonus sellatus*) 是共同傳播媒介，獲毒飼食時間最短爲 4 小時，經飼食 48 小時可達帶病原最高峰。傳病飼食時間最短爲 1 小時，經飼食 48 小時，可達傳病最高峰，媒介昆蟲獲病原後，呈永續性。以電子顯微鏡觀察帶病原之媒介昆蟲，在體液、唾腺、消化管等部位皆可發現病原 (楊, 1984)。在病原的偵測上，台大植物病毒

研究室曾製備單元抗體供診斷之用 (千, 1986)，爾後亦研發核酸探針與 PCR 等分子檢測技術 (關, 1996)。

在絲瓜簇葉病植物菌質體的基因選殖方面，台大植物學研究所著力甚深，包括 tuf、16S rRNA、23S rRNA、5S Rrna 及二個 tRNA 基因 (tRNAVal 基因，tRNAAsn 基因) 都已選殖出來。

5. 甘藷簇葉病 (loofah witches' broom, 病原屬於 16SrII group)

罹病甘藷顯現小葉叢生、節間縮短、枝葉細小、花器葉化等病徵，而塊根萎縮甚至不結薯塊，對品質及產量之影響很大。本病可經由帶病薯苗、嫁接、塊根心接等方式傳染，田間也有南斑葉蟬 (*Orosius orientalis*) 可媒介傳播。除甘藷外，甘藷屬的牽牛花、馬麻藤、白花牽牛及長春草等植物可做爲病原的中間寄主，也是防治上容易疏漏之處。病害診斷上，台大植物細菌學研究室早期即已建立抗體偵測技術 (沈, 1992) 與核酸探針 (柯, 1993) 可供應用。防治方法上，首先應清除田間的越年的病株與中間寄主，發病區應全面剷除舊宿根，使用健康種苗，應用藥劑防治南斑葉蟬，並與其他作物輪作 (楊, 1989)。

6. 泡桐簇葉病 (paulownia witches' broom, 病原屬於 16SrI group)

泡桐簇葉病屬林木病害，其病徵包括分枝叢生，葉片變小而軟弱，葉色呈淡黃綠色，罹病的泡桐樹，樹枝有徒長現象，變得較弱，易受瘡痂病及露菌病等病原菌之侵入。簇生的分枝常在一年內發生枯枝現象，病樹自第二年起即停止生長，且當年冬天及翌年春天多枯死。此病害可藉由無性繁殖泡桐植株而廣爲傳播，爲害更爲嚴重，成爲泡桐生產之限制因子。中國與日本發表菸草盲椿象 (*Cyrtopeltis tenuis*)、茶翅椿象 (*Halyomorpha mista*) 和小綠葉蟬 (*Empoasca flavescens*) 是此病的媒介昆蟲，但在台灣尚未完整證實。台大植物病毒研究室曾製備單元抗體供診斷之用 (千, 1986)，近年來農委會林業試驗所開發台灣泡桐簇葉病擬菌質體之核酸診斷探針及 PCR 快速檢測技術建立，對病原偵測以可達快速而準確，並加速泡桐抗病品種方面之研究。

7. 日日春葉片黃化病 (periwinkle leaf yellowing, 病原屬於 16SrI group)

本病爲近年來新發現的植物菌質體病害。於 2005 年在桃園縣大園鄉之園藝花卉栽培區陸續發現疑似植物菌質體感染所造成之日日春病害，依罹病植株所呈現之葉片黃化、簇葉、花器葉化等病徵，將其命名爲日日春葉片黃化病 (periwinkle leaf yellowing, PLY) (黃, 2009)，研究證實罹病植株體內之病原乃屬於第一群 (16SrI group) 植物菌質體。台大植物細菌學研究室進一步研究發現當地有四種葉蟬可攜帶 PLY phytoplasma，分別爲東方二叉葉蟬 (*Macrosteles orientalis* Vilbaste)、二點透翅角頂葉蟬 (*Cicadulina bipunctella*)、黑點角頂葉蟬 (*Phlogotettix cyclops*) 以及二室葉蟬 (*Balclutha* sp.)，且以東方二叉葉蟬的帶菌率與帶菌量都最高，推斷其爲主要之媒介昆蟲。

8. 水稻黃萎病 (rice yellow dwarf, 病原屬於 16SrXI group)

水稻黃萎病曾是台灣重要水稻病害之一，但近 20 年來已趨於輕微。主要危害二期稻作，罹病稻株明顯矮化，分櫱增多，葉片呈淡黃色。在分櫱後期被感染之水稻，病徵不明顯，僅少數分櫱莖比正常者爲短。病株往往不能抽穗，即使能

抽穗，稔實亦欠佳。收割後之再生稻有典型之黃化現象。本病病原係由僞黑尾葉蟬 (*Nephotettix cincticeps*)、黑條黑尾葉蟬 (*N. nigropictus*) 與台灣黑尾葉蟬 (*N. virescens*) 等媒介傳播。預防本病之發生除應注意田間衛生、好發病地區可延後種植期，於二期稻秧苗期可利用殺蟲劑防治黑尾葉蟬可減輕發病程度 (陳, 1978)。

9. 甘蔗白葉病 (sugarcane white leaf, 病原屬於 16SrXI group)

甘蔗白葉病過去曾是台灣甘蔗重要病害之一，近年來較不嚴重，目前亞洲地區以泰國危害較多。蔗株感染本病時，葉片會產生一至數條黃白色條斑，沿葉脈由葉基部延伸至葉緣，嚴重時全葉變白。發病較輕者，於低溫時病徵可呈潛伏，但至夏季 6-7 月高溫多濕時，新葉及分櫱再度表現白葉病徵。秋冬乾燥時期，病株葉片多呈枯黃現象，逐漸枯死。由病蔗採苗是本病主要傳播途徑，田間由臺灣斑紋葉蟬 (*Matsumuratettix hiroglyphicus*) 進行二次傳染，媒介昆蟲屬永續性傳播 (松本等, 1968)。防治上除了確實執行健康種苗策略外，應機動迅速拔除病株，而嚴重疫區應建議改爲晚秋植 (9 月下旬以後種植) 及春植，避開臺灣斑紋葉蟬高峰期。

10. 植物菌質體致病機制的探討

台大植物細菌學研究室利用差異性顯示法 (differential display, DD) 技術獲得日日春 PnWB 感染花生簇葉病植物菌質體後表現具有差異性的 mRNA，並完成 64 個 Cdna 片段之選殖，以 real-time PCR 做進一步分析，顯示 7 個基因之表現具差異性。再從其中獲得 3 個基因之 cDNA 全長序列，並加以比對以確認基因名稱，分別爲 ML domain protein gene, eukaryotic translation initiation factor SUI1 gene 及 plastidic aldolase gene，其功能分別與植物先天性免疫反應 (innate immune response)、逆境反應 (stress response) 與光合作用 (photosynthesis) 相關 (陳, 2011)。

另外，爲了探討植物菌質體感染之後植物花器病徵造成的原因以及對植物菌質體生長之意義，利用同步聚合酵素連鎖反應之相對定量方法，分析日日春葉片黃化病植物菌質體及花生簇葉病植物菌質體罹病日日春，於花形變化三階段之花形決定基因 B class AP3 及 PI、 C class AG 及 E class SEP3 與花色決定基因 chalcone synthase 基因 (CHS) 及 chalcone isomerase 基因 (CHI) 等各基因表現量之變化。結果發現，日日春受植物菌質體感染後，花器形態及花色的改變與花形及花色決定基因表現量之下降有關，且植物菌質體之感染造成日日春花器形態之改變，有利於植物菌質體在罹病植株中族群量之增加 (蘇, 2010)。

近年來新發現的疑似植物菌質體病害

1. 柑橘

近來國內外皆發現柑橘類寄主受植物菌質體感染的疑似病例，爲釐清其病原性，進行下列試驗。將有植物菌質體 (花生簇葉病與日日春葉片黃化病植物菌質體) 感染的日日春利用菟絲子傳入柑株上，試驗期間確認每株柑株上的菟絲子確有病原，在菟絲子上可測到有高濃度的植物菌質體並且穩定存在，可一直提供植物菌質體傳入柑株。而經由菟絲子傳入後的三個月開始逐月定期做監測，在爲期

一年的定期追蹤柑株內菌質體的消長結果顯示，菌質體確實可進入柑株內，多種柑株品種皆可感染，但其可測到菌質體存在的時間要半年且需以巢式 PCR 才可以增幅出預期的片段，即表示在柑株內的菌質體濃度極低，需經兩次的 PCR 才得以增幅出預期條帶；在一年期間的追蹤觀察，菌質體進入柑株後並不能持續性的存在，大多柑株在菌質體進入後又消失，可能原因爲在柑株內的菌質體族群量極低而無法以巢式 PCR 偵測到，也可能是試驗期間溫室內高溫而影響或者柑株並不爲菌質體的適合寄主而無法持續性存在，在這些柑株上並無呈現任何病徵狀，柑株生長良好呈健康狀。

另一方面進行田間植物菌質體感染柑橘的調查，共檢測在屏東的檸檬、大溪地萊姆、四季桔等 100 個樣本；嘉義地區的柳橙、白柚及茂谷柑等 74 個樣本；雲林地區的文旦柚、白柚及椪柑等 68 個樣本及新竹地區的 37 個桶柑樣本。將樣本抽取核酸後以巢式 PCR 進行偵測僅有二例可檢測出菌質體。其一爲雲林斗六的文旦柚，另一爲屏東的萊姆樣本，但病徵皆不明顯。由以上的試驗結果得知，柑株內的植物菌質體扮演低病原性角色且大多進入柑株後又消失，以極微量存在且無病徵表現，初步判斷對柑橘的產業較無破壞性的影響。

2. 馬鈴薯、葡萄與蓮霧

近來於雲林斗六地區發現馬鈴薯發生嚴重黃化、矮化病徵，以植物菌質體特異性引子對進行巢式 PCR，可增幅出特異性片段，證實受植物菌質體感染；另於南投信義地區發現葡萄發生嚴重黃化、葉緣焦枯的病徵，PCR 偵測也證實受植物菌質體感染，序列分析發現屬於 16SrXII group；又於嘉義梅山地區發現蓮霧發生嚴重葉片黃化、再生葉縮小、植株生長衰退等病徵，PCR 偵測也證實受植物菌質體感染，序列分析發現屬於 16SrI group。進一步觀察發現馬鈴薯每年發生植物菌質體感染情況有所差異，發病薯田常呈現幾乎全面罹病情況，推論可能是種薯帶原而導致。對罹病的葡萄與蓮霧進行終年定期追蹤，發現春末初夏期間才容易測到病原，其餘季節 (尤其冬季) 幾乎難以測到，因此這些植物菌質體的致病力仍有待進一步試驗來證實。

引用文獻

李芷芸。2008。利用 real-time PCR 進行花生簇葉病菌質體質體 pPNWB 套組數之測定與台灣梨衰弱病菌質體之檢測。台灣大學植物病理學研究所碩士論文。

呂沛穎。2009。花生簇葉病菌質體 rpsT, serS 與 hflB 基因之選殖與分析。台灣大學植物病理學研究所碩士論文。

沈偉強。1992。甘藷簇葉病病原似菌質體單元抗體之製備與應用。台灣大學植物病蟲害學研究所碩士論文。

松本巍、李敬修、鄧文盛。1986。臺灣甘蔗白葉病之研究 - 臺灣斑紋浮塵子之傳播。植物保護學會會刊 10: 3-10。

柯曉芝。1993。甘薯簇葉病病原似菌質體核酸探針之製備與應用。台灣大學植物病蟲害學研究所碩士論文。

陳妙帆。1994。花生簇葉病病原似菌質體核酸探針之製備及應用。台灣大學植物

病蟲害學研究所碩士論文。
陳泠伶。2010。日日春葉片黃化病植物菌質體之質體選殖與分析。台灣大學植物病理學研究所碩士論文。
陳武揚。2011。日日春受花生簇葉病質物菌質體感染後基因表現差異性研究。 台灣大學植物病理學研究所博士論文。
黃耀徵。2009。日日春葉片黃化病之病原植物菌質體與其媒介昆蟲之探討。台灣大學植物病理學研究所碩士論文。
黃婷榆。2009。花生簇葉病菌質體 dnaB1 和 dnaG 基因之選殖與分析。台灣大學植物病理學研究所碩士論文。
程諭揚。2010。植物菌質體之優勢免疫膜蛋白基因 imp, idpA 與 amp 之選殖與分析。台灣大學植物病理學研究所碩士論文。
楊一郎。1989。甘藷病害。台灣農家全書。行政院農業委員會出版。台北。164 頁。
楊秀吉。1984。台灣瓜類作物擬菌質病害之研究。台灣大學植物病蟲害學研究所博士論文。
陳慶忠。1978。水稻黃萎病之流行學。「水稻病蟲害：生態學與流行學」研討會講稿集 (邱人璋編)。農復會編印。台北。第 139-166 頁。
蔡孟旅。2010。日日春葉片黃化病植物菌質體核醣體 RNA, rplV-rpsC, secY 與 tuf 基因之譜系分析。台灣大學植物病理學研究所碩士論文。
蔡涵雅。2007。花生簇葉病菌質體 group II intron 之選殖與分析。台灣大學植物病理學研究所碩士論文。
劉秀玲。2007a。台灣梨衰弱病之病原與其媒介昆蟲之探討。台灣大學植物病理學研究所博士論文。
劉淑玲。2007b。台灣梨衰弱病二種植物菌質體之探討。台灣大學植物病理學研究所碩士論文。
魏慧珍。2002。以逢機定序策略探討花生簇葉病病原菌質體之基因體 DNA。台灣大學植物病理學研究所碩士論文。
關政平。1996。絲瓜簇葉病擬菌質之核酸探針製備，PCR 技術開發與應用。台灣大學植物病蟲害學研究所博士論文。
蘇秋竹、楊文仁、高清文。2006。台灣地區木瓜莖頂枝葉枯萎病發生報導。植物病理學會刊 15: 301。
蘇意婷。2010。植物菌質體罹病日日春花器葉片化、綠化之病徵發展及花形、花色決定基因之變化與植物菌質體菌量之關係。台灣大學植物病理學研究所碩士論文。
Bau, H. J., Y. K. Chen, and S. D. Yeh. 2005. Occurrence of phytoplasma infection in papaya. Annual meeting of Taiwan Phytopathology Society. (Abstract)
Doi, Y., M. Teranaka, K. Yora, and H. Asuyama. 1967. Mycoplasma- or PLT group-like microorganisms found in the phloem elements of plants infected with mulberry dwarf, potato witches' broom, aster yellows, or paulownia witches' broom. Ann. Phytopathol. Soc. Japan 33: 259-266.
Hogenhout, S. A., K. Oshima, E. -D. Ammar, S. Kakizawa, H. N. Kingdom, and S.

Namba. 2008. Phytoplasmas: bacteria that manipulate plants and insects. Mol. Plant Pathol. 9: 403-423.

Lee, I. -M., K. D. Bottner, G. Secor, and V. Rivera-Varas. 2006. '*Candidatus* Phytoplasma americanum', a phytoplasma associated with a potato purple top wilt disease complex. Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 56: 1593-1597.

Lim, P. O. and B. B. Sears. 1992. Evolutionary relationships of a plant-pathogenic mycoplasma-like organism and *Acholeplasma laidlawii* deduced from two ribosomal protein gene sequences. J. Bacteriol. 174: 2606-2611.

Schneider, B., U. Ahrens, B. C. Kirpatric, and E. Seemüller. 1993. Classification of plant-pathogenic mycoplasma-like organisms using restriction-site analysis of PCR-amplified 16S rDNA. J. Gen. Microbiol. 139: 519-527.

Schneider, B., E. Seemüller, C. D. Smart, and B. C. Kirkpatrick. 1995. Phylogenetic classification of plant pathogenic mycoplasma-like organisms or phytoplasmas. pp. 369-380 *in* the Molecular and Diagnostic Procedures in Mycoplasmology. Vol. 1, S. Razin and J. G. Tully, eds. Academic Press, San Diego, CA.

Weintraub, P. G. and L. Beanland. 2006. Insect vectors of phytoplasmas. Annu. Rev. Entomol. 51: 91-111.

Yang, I. L. 1988. Witches' broom diseases of sweet potato and peanut in Taiwan. Ph. D. Thesis. Hokkanido Univ. Japan.

Current status on important crop diseases induced by phytoplasmas in Taiwan

Ting-Hsuan Hung [1, 2] and Chan-Pin Lin[1]

[1] Dept. of Plant Pathology and Microbiology, National Taiwan University, Taipei, Taiwan
[2] Corresponding author, e-mail: thhung@ntu.edu.tw

Abstract

Phytoplasmas are prokaryotic organisms that have no cell walls. They are important plant pathogens causing more than 500 plant diseases. The pathological studies of phytoplasmas are hampered because they have not yet been successfully cultured *in vitro* so far. They were categorized as the “virus-like diseases” based on the fact that the symptoms they induced were usually similar to those induced by plant viruses. Phytoplasmas are mainly transmitted through vegetative propagations and by insect vectors such as leafhoppers, planthoppers and psyllids. The researches on phytoplasma-caused diseases in Taiwan were focused on their diagnoses, ecology and genomics. The investigation of pathogenesis of phytoplasma diseases was recently initiated. Currently important phytoplasma diseases occurring in Taiwan include pear decline, papaya dieback, peanut witches’-broom, loofah witches’-broom, sweet potato witches’-broom and periwinkle leaf yellowing. Rice yellow dwarf and sugarcane white leaf were severe diseases years ago. Recently, several disorders similar to phytoplasma-associated cases were discovered in citrus, potato, grape and wax apple plants, but the confirmation of their pathogeneses on their respective hosts are under investigation.

Keywords: phytoplasma, virus-like diseases, insect vectors

柑橘黃龍病之發生生態及防治研究

蔡佳欣 [1,3] 洪挺軒 [2] 蘇鴻基 [2]

[1] 行政院農委會農業試驗所植物病理組
[2] 國立臺灣大學植物病理與微生物學系
[3] 通訊作者 e-mail: tsaich@tari.gov.tw

摘 要

1951 年柑橘黃龍病於臺灣北部首次發生，病菌初期只危害臺灣主要柑橘品種如椪柑、桶柑及柳橙等，1971 年後開始感染柚類，並逐步擴及所有品種，顯示病菌系統近幾十年來產生演變。因此本研究以四種鑑別柑橘品種 (椪柑、柳橙、文旦與檸檬) 進行生物檢定，鑑別出目前台灣田間至少有 4 種黃龍病菌系統：系統 I 僅對椪柑與柳橙具病原性且產生典型病徵，爲原始系統；系統 II 對四種鑑別品種皆具病原性與高毒性，並可快速於其內增殖；系統 Ⅲ 僅在椪柑與柳橙引起中度病徵，在文旦出現輕度病徵。系統 Ⅳ 僅感染椪柑及柳橙，但幾無病徵表現。目前田間以系統 II 爲最優勢族群。於田間採集疑似黃龍病樣品中，平均僅約 3 成感染黃龍病，且常與柑橘病毒複合感染。經接種試驗發現，受黃龍病菌與柑橘病毒複合感染之植株，其病徵與植株萎縮程度皆嚴重於僅受到黃龍病單一病原感染株。爲瞭解黃龍病標準病徵，於無病毒紅江橙園區採集各種黃化材料，並依病徵分爲六型，發現以第六型 (黃綠不均斑駁狀) 病徵感染比率最高 (72.3 %)。於柑橘品種對黃龍病菌之抗感性研究顯示，椪柑、桶柑對黃龍病菌最感病；晚崙西亞次之；文旦、檸檬與金柑再次之。各砧木依抗感性可分爲感病型、中度耐病、高度耐病及抗病型四類。另研究發現病菌在植株的分佈情形極不平均且病菌於涼溫之春秋兩季含量較多。化學治療上，本試驗以 Su 與 Leu 1972 年起使用的四環黴素療法，加以改進試驗：首先設計一灌注裝置於室內分析四環黴素與青黴素藥效，以四環黴素效力較佳。之後改進田間灌注方式，以加壓灌注器在 80 磅下，灌注抗生素於田間病柚老柑株，各抗生素配方均可有效降低病株病級數，以四環黴素單劑配方較佳。以 1000 ppm 四環黴素灌注 3 次可達良好治療效果，處理後樹勢恢復，可產生好品質柑果。此藥療法引起暫時性藥害包括新生葉細長、葉脈褐化、葉片焦枯與大量落葉等現象，但皆可於半年後恢復。

關鍵詞：柑橘黃龍病、柑橘黃龍病菌系統、化學療法、柑橘品種

前 言

柑橘黃龍病 (Huanglongbing, HLB) 早於 1943 年便於中國大陸發生，1947 年亦於南非發生並以 greening 病名發表，台灣於 1951 年起開始嚴重發病。經松本教授等 (1961) 根據其病徵稱之爲立枯病 (Likubin)。因當時僅知此病可由接穗

傳染，對病原及媒介昆蟲尚不瞭解因此十年內此病大發生影響柑橘產業甚鉅，1960 年全台普查 103 萬調查株中黃龍病占 22% (邱及蔡, 1976)。1971 年台南地區原本抗病之文旦首度發現黃龍病，至 1975 年該地區文旦樹普遍黃化 (蔡, 1978)，至 1979 年證實此病已演化至可感染柚類 (Su & Wu, 1979)。此病病原研究耗時多年，直至黃 (1987) 利用電子顯微鏡方確認此病原爲多型性 (pleomorphic) 之營養苛求細菌 (fastidious bacteria)，呈長桿狀，大小約 350-550 x 600-1500 nm，外包薄壁 (厚約 20-25 nm)，以行出芽生殖爲主，寄生於維管束篩管細胞，菌體可變形通過篩管細胞而蔓延全株，爲系統性病原細菌 (圖 1)，學名爲 *Candidatus* Liberibacter asiaticus。植株一旦染病將導致產量降低，果實品質差，壽命減短，無經濟生產價值。由於此病可經由帶菌接穗或柑橘木蝨媒介傳播 (Capoor *et al.*, 1967)，媒介傳播則成爲田間黃龍病蔓延主因。因此防治的重點在於種植健康苗木與避免媒介昆蟲。全球各先進國家柑橘產區極重視病毒與類病毒病害的傳播，美國早在數十年前即採行健康種苗制度。台灣早年並無此制度，均由種苗商自行嫁接繁殖後出售，因此台灣目前田間各種系統性病害可能亦已蔓延，包括有柑橘黃龍病、柑橘萎縮病 (citrus tristeza) 與柑橘破葉病 (citrus tatter leaf)，所以到底目前此類病害在台灣各產區的危害情形亦需瞭解。

以往黃龍病的生態研究受限於缺乏高敏感度的偵測技術，許多學術上的問題與防治策略無法解決，目前國內已開發之黃龍病 PCR 偵測 (Hung *et al.*, 1999)，可用於偵測柑株及木蝨體內之病菌，對解明黃龍病發病生態與防治上相當有助益，因此本研究擬從探討目前田間黃龍病菌之感染特性，進行台灣黃龍病菌之系統鑑別，以及利用分子診斷技術，廣泛偵測採集田間各品種柑橘植株，對台灣柑橘目前最重要之三種系統性病害 (黃龍病、萎縮病及破葉病) 之分佈與感染情形作一確切之瞭解，並對黃龍病菌與柑橘病毒之複合感染對柑橘生長之影響作一研究。此外，本文亦研究各經濟品種與砧木對黃龍病之抗感性，以作爲綜合防治與產業利用之參考。在此病實際的防治方面，控制媒介昆蟲爲主要防治策略，但若感染源一直存在將使得防治媒介昆蟲之策略失敗。實際上台灣並無法令可強制農民銷毀罹病病株，爲此問題我們亦從事抗生素對黃龍病株之治療試驗，並以 PCR 長期追蹤其療效，除希望提高柑橘品質之外，更期能以此法達到長期控制病株，使媒介昆蟲無法再傳播此病。雙管齊下，盼此病能降低至不造成柑橘生產者痛苦。

黃龍病菌之病原性系統鑑別

黃龍病 1951 年自台灣北部開始發生後，迅速破壞台灣柑橘產業，椪柑、桶柑及甜橙普遍嚴重發生，至 1971 年原本被視爲抗病的台灣文旦亦開始出現了黃萎的病徵而被認爲與 HLB (Huang & Chang, 1980)，顯示此病菌的病原性已發生演變。本研究選用 4 種不同抗感病性之柑橘鑑別品種分別爲椪柑、柳橙、文旦柚與檸檬。椪柑與柳橙爲自 1951 年起最先發現發病之罹病性柑橘品種 (Matsumoto *et al.*, 1961)，文旦柚及尤利加檸檬爲過去被認爲對黃龍病抗病及耐病之品種。以上述 4 種鑑別植物之實生苗作爲嫁接接種之鑑別植物，對收集自全台各主要產地之不同品種之病原菌進行鑑別，各產地分布爲，新竹縣主要栽植椪柑及海梨柑，苗

栗縣地區主要栽種桶柑以及椪柑，柳橙則主要產在台南與雲林縣，以文旦爲主之各種柚類則主要分佈在雲林縣及花蓮縣，金柑主要種植在宜蘭縣，檸檬則主要產在屏東縣。

黃龍病菌分離株之系統分類主要是依靠 4 種柑橘鑑別品種之致病性與毒性來進行判定。而目前我們已可將黃龍病菌分離株分爲 4 個系統。經接種 12 月之後，病原系統 I 可於椪柑與柳橙引起嚴重病徵，但卻無法感染文旦與檸檬 (圖 2, strain I)，經 PCR 追蹤並無黃龍病菌於文旦與檸檬中增殖 (表 1)。病原系統 Ⅱ 則爲一具高毒性與致病性之病原系統，可引起所有鑑別植物嚴重病徵，包含有葉片黃化斑駁、捲曲、葉脈黃化 (圖 2, strain II) 以及嚴重矮化。並於 PCR 偵測中皆可有強烈繁殖訊號。病原系統 Ⅲ 則爲一中間型系統，可引起中度病徵，僅可感染椪柑、柳橙及文旦 (圖 2, strain Ⅲ)。其所造成之病徵爲葉片褪色 (leaf-chlorosis) 與葉脈輕微之突起，但不造成黃化斑駁之黃龍病典型病徵。病原系統 Ⅳ 則爲一弱系統，可感染椪柑、柳橙幾無病徵表現，只造成輕微均勻褪色，但無法感染文旦與檸檬，田間稀有發現 (圖 2, strain Ⅳ)。目前經調查田間以病原系統 Ⅱ 爲分布最優勢之族群。

台灣地區柑橘黃龍病與柑橘病毒複合感染之研究

一、HLB 之發生及其與萎縮病毒 (CTV) 或破葉病毒 (CTLV) 複合感染情形

台灣地處熱帶與亞熱帶地區，柑橘品種繁多，本次調查各大柑橘產區，疑似 HLB 病徵之各品種柑橘植株，偵測 HLB、CTV 與 CTLV 後，結果歸納於表 2，由台灣北部新竹，苗栗之主要椪柑及桶柑產區內共偵測 146 棵具有黃化病徵之椪柑與桶柑病株後，發現事實上約有 30% 之病材料對 HLB-PCR 呈現陽性反應；並且感染 HLB 之植株中，HLB 與 CTV 複合感染超過 65%，HLB、CTV 與 CTLV 三者複合感染亦約有 30%。另也發現目前新竹地區受 HLB 感染之椪柑、桶柑病株亦幾乎是 100% 受 CTV 感染，30% 以上受 CTLV 感染。

雲林縣與花蓮縣爲文旦柚、白柚、西施柚、雜柚之主要產區，統計此兩地區黃化病柚 267 棵中有 30-45% 爲 HLB 感染，而 HLB 病株與 CTV 複合感染在各品種柚類有極大的不同，在文旦、白柚、西施柚之 CTV 複合感染率甚低只有 3-8%，然 HLB 與 CTLV 之複合感染卻超過了 40%。在葡萄柚及明尼桔柚之 HLB 病株則有不同的情況，HLB 與 CTV 複合感染爲 60-77.8%，HLB、CTV 及 CTLV 三者共同複合感染者佔 22-30%，因此兩者合計 HLB 病株約 90-100% 受 CTV 感染。

嘉義縣竹崎與雲林縣古坑鄉爲台灣最大之柳橙產區，其田間衰弱黃化之柳橙病株亦約 30% 感染 HLB，然其單獨與 CTV 複合感染者不多，僅 8-10%，但同時與 CTV 及 CTLV 感染者竟超過 90%，表示本國之柳橙產區除 HLB 感染嚴重外，其 HLB 柳橙病株竟又幾乎被兩種柑橘病毒所感染。

金柑爲宜蘭縣之主要經濟作物，過去幾無 HLB 自然感染之報告，近年已被

證實台灣金柑亦開始遭受 HLB 侵害 (Tsai *et al.*, 2006)，其目前在田間的感染情形，則尚無任何報告。本次採集宜蘭縣各地之主要金柑產區共 115 黃化金柑病株，發現約 10% 可由 HLB-PCR 偵測到 HLB 原菌之存在，其中 HLB 與 CTV 之複合感染有 33%，HLB 單獨與 CTLV 複合感染者則無發現，但三者共同感染者高達 66.7%，因此兩者合計 CTV 感染 HLB 金柑病株達 100%，而 CTLV 感染 HLB 金柑病株亦有 60% 以上。

檸檬生產地主要集中在屏東，目前在田間黃化疑似 HLB 之檸檬病株 53 棵中，經檢驗超過 50% 已感染了 HLB，完全無 CTV 複合感染的發現，但是依然有 35.7% 與 CTLV 複合感染。另外本次亦調查了位於屏東種植紅江橙無病種苗園出現黃化或衰弱之 3 年生病株共 127 株，發現亦有 29% 受 HLB 感染，然並無發現與 CTV 或 CTLV 複合感染的情形。

二、黃龍病與柑橘病毒複合感染對柑橘生長及黃龍病病徵表現之影響

由於目前台灣田間柑橘植株普遍遭受 CTV 與 CTLV 之感染，雖無明顯病徵，但其對植物本身生長勢及是否會造成黃龍病病徵加重則爲急待瞭解之問題，由接種試驗結果可知，當柑橘同時接種 HLB 與柑橘病毒時造成矮化萎縮最爲明顯，且其葉黃化病徵進展最快，並較快發展成葉全黃之嚴重病徵。單獨接種黃龍病所造成之矮化程度次之，而病毒雖與黃龍病一樣造成植株萎縮之病徵，但並不會像黃龍病一樣葉片嚴重黃化情形，而是呈現輕微褪色的現象。因此結果顯示柑橘病毒的存在會與黃龍病菌具協力作用，加速黃化病徵的表現。

黃龍病田間標準病徵型的研究

柑橘黃化植株雖與 HLB 相關，但並非皆由 HLB 所引起，因田間黃化病株甚多，病徵種類多變，極易與 HLB 病徵混淆，加上其它系統性病害複合感染嚴重，因此本試驗選定定植無病毒種苗園區共採集 173 個黃化材料，並依照不同病徵將其分爲 6 種類型 (圖 3) 並確認無病毒複合感染者始列入分析，第一型：葉片輕度褪色之 41 個病材料中，僅 2 個 (4.8%) 爲 HLB 感染；第二型：成熟葉葉脈間葉肉對稱黃化 (似缺鋅) 之 8 個病材料，經檢測並無 HLB 之感染；第三型：脈間葉肉不均勻之褪色 (似缺錳) 之 27 個病材料中有 4 個 (14.8%) 爲 HLB 感染。第四型：葉脈均勻黃化但葉肉保持綠色或淡綠色 16 個樣本中有 8 個 (50%) 爲 HLB 感染。第五型：整片葉片均勻黃化，成熟老葉僅主脈維持綠色，年輕成熟葉變小且全黃，25 個病材料中 12 個 (48%) 爲 HLB 所感染。第六型：葉脈與葉肉皆呈現黃綠不均勻之斑駁狀病徵，47 個病株中有 34 個 HLB 感染 (72.3%)，爲所有病徵型中最高。因此可瞭解第六型斑駁型爲黃龍病之標準病徵。

柑橘黃龍病各寄主對黃龍病之抗感性試驗

一、黃龍病菌於各柑橘品種內增殖速率與病株病徵發展速率

各臺灣經濟品種包括椪柑、桶柑、甜橙、文旦與金柑，接種 HLB 後，追蹤

其病原菌增殖速率與病級數進展 (病級數由輕至重分 0-3 級)。接種後發現，椪柑與桶柑最爲感病，黃龍病 PCR 訊號與病徵最快出現，於第 6 個月時出現典型斑駁狀之 3 級病徵。其次爲甜橙，第 3 級之典型病徵至第 8 個月以後方於少數葉片出現。文旦與檸檬則屬耐病品種，第 10 個月時方有少數病葉達到第 3 級，大多數葉片仍僅第 2 級病徵。金柑則是最耐病之經濟品種，PCR 訊號最晚出現，且其增加速度緩慢一直至 12 月皆維持較低濃度狀態。金柑葉片之病徵表現亦相當緩慢，不容易出現典型之黃龍病斑駁狀病徵，病級數亦多維持第 2 級。

二、黃龍病菌於各柑橘砧木內增殖速率與病株病徵發展速率

測試 9 種國內外常用砧木及 2 種非柑橘類但具砧木潛力之烏柑子 (*Severinia buxifolia*) 與木蘋果 (*Limonia acidissima*)，追蹤病徵進展及 PCR 強度發展 1 年，依照葉部病徵級數與生長樹勢之耐病程度之影響，可將其歸納爲 4 型：(1) 感病型:台灣最普遍使用之酸橘 (Sunki mandarin)、四季橘 (Calamondin) 以及中國大陸常用之枸頭 (Kau Tou sour orange) 砧木對黃龍病相當感病自接種後葉片最快開始出現輕微褪色病徵,至第 10 個月時病徵已發展達第 3 級典型斑駁病徵,並具強烈 PCR 偵測訊號。(2) 中度耐病: Volkamer Lemon, Rangpur Lime, Rough Lemon 及 *Citrus macrophylla* 接種黃龍病第 8 個月病葉方出現葉片褪色或缺乏營養之黃化病徵病徵，至第 12 個月時，成熟葉可測得中等 PCR 訊號，葉部病徵級數亦多在維持在第 2 級之中度病徵。另一種芸香科植物烏柑子 (*Severinia buxifolia*) 與柑橘亦有良好親合性，可作爲柑橘砧木，但於接種後 6 個月後可出現嚴重斑駁病徵，顯示其對黃龍病亦感病，然而隨著時間拉長，其葉部病徵有慢慢減輕的現象而至均勻褪色後穩定，因此仍將其歸類爲中度耐病。(3) 高度耐病：Troyer citrange, Swingle citrumelo 接種後一年除葉片縮小外，幾無任何黃化病徵出現，病級數屬第 1 級。PCR 偵測亦發現病原濃度一直維持在較低濃度狀態，因此將其歸爲高度耐病砧木。(4) 抗病型：木蘋果 (*Limonia acidissima*) 接種後，於接種後第 8 個月始能偵測到微弱之訊號，並具有輕微之黃化之病徵，但其微弱訊號相當不穩定，12 月時病菌之 PCR 訊號消失，故歸類於抗病型。

黃龍病菌於植物各部位之分佈及四季之消長變化

由田間 3 株無病毒複合感染之紅江橙黃龍病株採得之不同成熟度之葉片比較病菌濃度，可發現成熟葉與老葉中病菌的含量最高，而成熟葉之 PCR 強度似比老葉稍微略強但整體來說差異很小。幼葉次之，但濃度大幅減少，嫩芽最少且部份偵測不到。而若以葉片內之中肋與葉肉比較比較，中肋之濃度則大於葉肉。以相同處理方法萃取莖皮、花、果實、基幹皮層及根部，並經電泳分析後可發現病原濃度最高的地方在於果實，其次是成熟葉、老葉與莖皮，再其次爲根，幼葉中最低而新芽很少偵測到，基幹皮層中側不到病菌。於各季節之濃度變化，若以成熟葉爲基準，各季節均測到相當量而涼溫秋季與春季較高，而以高溫夏季及低溫冬季較低。

黃龍病之化學治療法

黃龍病自被發現與柑桔篩管內原核細菌有關以後，開啓了利用抗生素來治療此病的研究，包括有噴灑四環黴素 (tetracycline hydrochloride) 抑制葉部的病徵、以抗生素浸泡枝條或接穗的方式及點滴灌注四環黴素於病株方式治療此病 (Martinez *et al.*, 1970；Schwarz & van Vuuren, 1971；Su & Chang, 1976)。由於防治此病雖以媒介木蝨爲主要防治策略，但因田間病株眾多，耐病品種柚類、檸檬等罹病後仍可存活數年之久，尤其是 20 年以上的老柑株 (俗稱老叢)，在農民捨不得砍除的情況下，往往成爲傳染源，因此研發改良抗生素灌注法治療病株並減少傳染源。

一、以灌注裝置法測試抗生素之藥效

首先在實驗室中模擬實際田間注射情形，設計一灌輸裝置，利用抽氣馬達以負壓吸引不同濃度之四環黴素與青黴素後進入柑橘病枝條中，將處理過之植物病組織嫁接至柳橙實生苗進行病菌之生物檢定，經 6 個月後觀查黃龍病徵以及檢測黃龍病菌之繁殖與否。本試驗發現當四環黴素濃度濃度達到 10 μg / ml (ppm) 以上時，不論以文旦或茂谷爲接種源皆無黃龍病菌增殖於柳橙指示植物中，柳橙指示植物亦無病徵的出現，即表示具殺菌之藥效。然而青黴素需至 1000 μg / ml 以上時方能完全的抑制發病，而殺菌效果由此可知四環黴素之效力約比青黴素好 10-100 倍。

二、田間灌注藥劑配方試驗

本試驗分別在嘉義、斗六、花蓮三地進行大規模之臨床試驗。注射時採用商品化之改良式高壓灌注器，取代早期重力點滴法，可於灌注器內加入高壓 (壓縮空氣)，使器內抗生素溶液快速注入樹體內 (圖 4)，可大量使用於處理田間黃龍病之病株。藥劑配方以四環黴素爲基礎，配製各種四環黴素與其他藥劑混合之複方進行試驗比較，共計有 (1) 四環黴素 (tetracycline-HCl)，(2) 四環黴素+青黴素 (penicillin-G sodium)，(3) 四環黴素＋harpin，(4) 坊間四環黴素 (當地農民提供)，(5) 四環黴素＋青黴素 + harpin，(6) harpin (harpin 係誘導抗病劑)，各試驗地區以不同組合及劑量進行試驗，注射後效果則以黃龍病菌 PCR 檢測追蹤與病株病級數進展評估。病級數以病樹黃化葉所佔比例共分 5 級 (0:無病徵。I: 0-25% 葉黃化。Ⅱ: 21-50% 葉黃化。Ⅲ: 51-75% 葉黃化。Ⅳ: > 76% 葉黃化及梢枯)。

田間實際灌注試驗於各地之柚類園進行，以具不同黃龍病病級數 (Diseae index, DI) 之柚病株進行藥劑灌注試驗，以上述之配方處理，灌注後發現，經 3 次灌注者追蹤 1 年半，含有四環黴素之各配方均能有效的降低黃龍株之病級數。以 1000 ppm 之四環黴素單劑 (3 公升/每棵) 灌注 20 年生以上之病柚老柑株 3 次，可達到良好的治療效果，以 PCR 追蹤 1 年半皆無再發病，治療效果優於僅施藥 1 次之病株，且 3 次灌注施藥對任何 DI 之病株均可達良好的治病效果，於 4 種不同 DI 之黃龍病株，皆可恢復至幾無病徵的情形。四環黴素與其它藥劑混合之複方，注射後植物之生長勢亦顯著提升，枝葉茂密，病級數下降至 0 或

I 級，但病株再發病的比率有時高於四環黴素單劑處理者。單獨灌注 harpin 者，則無明顯的抑制作用，病株仍繼續產生明顯葉部與果實病徵，與對照組相同，故 harpin 無治療效果。而經灌注各抗生素配方後之病株其柚果品質改善，幾乎皆無病徵之表現，其相較於未灌注者果實重量較重，甜度明顯上升，酸度降低，甜度/酸度比上升，與健康對照接近。

然而此 3 次灌注高劑量四環黴素與其混合複方的方法，會引起暫時性的藥害，如新生葉細長、葉脈褐化、葉片焦枯與大量落葉等現象，但可於半年後慢慢恢復正常生長。

討 論

台灣位於熱帶與亞熱帶之交界，爲北迴歸線通過之最大島，因此北部屬於亞熱帶氣候，南部則屬於熱帶氣候。此外中央山脈群縱貫全島，將台灣區隔爲東西兩個部分，這個特別的地理特性使得台灣各地之氣候變化更加明顯，亦使得柑橘品種更加多樣化。例如椪柑與桶柑集中在台灣北部，文旦集中在台灣東南與西南部，檸檬種植在台灣最南部，而金柑種植於西北部。因此多變的氣候與柑橘品種，增加了病原菌演化的機會。在此研究中，首次將台灣亞洲型黃龍病菌分系統族群以生物鑑別爲 4 個型，病菌系統 I 只對椪柑、桶柑與柳橙產生嚴重之黃龍病徵，而不對文旦與檸檬反應。這個現象與 1951-1970 年之台灣田間觀察黃龍病只在椪柑、桶柑及柳橙發生之結果相同，因此此系統應爲原始型黃龍病菌系統。黃龍病爲一種似病毒之系統性病害，由無性繁殖之種苗及木蝨媒介昆蟲傳播，此種寄主品種侷限的情形也同樣發生在柑橘病毒上，以柑橘萎縮病毒 (CTV) 爲例，CTV 柚類莖陷系統 (Pum/SP) 只能侷限在柚類並引起嚴重矮化、葉片捲曲及莖部凹陷病徵。而甜橙莖陷系統 (SO/SP)、寬皮柑莖陷系統 (Mand/SP) 與一般之苗黄系統 (SY) 則無法危害柚類 (Tsai *et al.*, 1993)。相較於 HLB 系統 I 感染僅侷限於寬皮柑 (mandarin) 及橙類，系統 Ⅱ 可危害各柑橘品種，尤其可危害柚類並快速增殖引起嚴重病徵。在田間，此優勢病菌系統 Ⅱ 可危害各品種產生典型黃龍病徵，尤其是其可感染耐病性之柚類與檸檬品種，因此目前台灣南部隨處可見文旦病株，而病徵強烈者，經病原性與毒性分析皆屬於系統 Ⅱ。系統 Ⅲ 在田間通常顯現中間型病徵或弱病徵，此田間觀察結果亦與毒性分析結果一致。系統 Ⅳ 爲一弱系統，其在田間病株亦幾乎不產生病徵，只見均勻之輕微褪色，經毒性分析後發現此系統的確不產生病徵可維持一年以上，且病菌增殖速率緩慢且只能維持在低濃度。

台灣自 1951 年發生 HLB 以來至今已超過 50 年，然至目前 HLB 仍分佈在田間而成爲柑橘生產之限制因子。在本研究發現田間黃化衰弱之各品種柑橘病株約有 30% 以上爲 HLB 所引起，而以耐病品種之文旦、檸檬感染率較高，金柑最低。雖然目前已知此病由木蝨所傳播，然經數十年卻無法將其壓制，目前並已擴散至全國各地。由本研究可瞭解其原因除媒介昆蟲傳播外，更重要之原因爲傳染源一直存在於田間無法去除。在椪柑與桶柑產區常可發現路邊或是田與田之交界處常有零星幾棵中度或輕度黃化之文旦分佈，經 HLB-PCR 檢測其感染

HLB 達 70-80% (表 2)，相同的情形亦發生在柳橙與金柑產區，由於農民常少量雜種些耐病品種，其可感染多年而不死亡，因此往往成爲主要之感染源，反而影響了主要品種之生產。椪柑、桶柑、柳橙過去即被認爲對 HLB 敏感之品種 (da Graca, 1991; Miyakawa, 1980)，再加上這些感病品種幾乎是 100% 感染 CTV，而 CTLV 亦普遍感染 30% 以上，因此 HLB 與病毒複合感染的結果，似亦可解釋田間感病品種快速萎凋死亡之另一原因。而柚類與檸檬產區之黃化病株相對於感病品種，則有較高的比率感染 HLB，經查訪農民瞭解其感染 HLB 已數年之久，但在其果實未完全失去商品價值之前，大部分之果農大多不願更新，尤其以種植文旦之農民普遍認爲“老叢”文旦，果肉細緻，甜度較高，因此超過 30 年之老柚樹，縱使感染 HLB 亦捨不得去除。另一耐病品種檸檬，雖然感染 HLB 會使其產果量下降，果實變小，但由於消費者只取其酸果汁，因此對果實品質影響尚可忍受，也造成檸檬植株淘汰率低，病株四處分佈，除造成生產成本增加，也加速 HLB 擴大蔓延於整個產區，更造成其他對 HLB 敏感之柑橘品種不易在此區種植。爲促使台灣柑橘產業升級，2004 年行政院農委會動植物防疫檢疫局頒佈「柑橘無指定疫病蟲害種苗驗證作業須知」，並輔導種植新健康柑橘，以期逐步淘汰田間已感染黃龍病或柑橘病毒之病株。本試驗亦研究多種砧木對 HLB 的抗感性，期能加強植株抗性，配合健康種苗制度，提升柑橘產業。砧木的試驗中發現，國內常用之酸桔與四季橘爲對黃龍病敏感之砧木，多用來繁殖椪柑、桶柑及甜橙類對黃龍病敏感之商用品系，因此一旦遭受感染往往在很快的時間病菌便遍布病株地上與地下部而快速敗亡，耐病或抗病砧木的使用可使病菌於根部濃度降低較不易繁殖擴散，增加植物耐病性，並可在發病初期便給予適當的抗生素治療，如此將可延長柑橘園之生產年限。檸檬類之砧木以本次溫室試驗結果可說是相當耐病，病徵亦不強烈，其中粗皮檸檬及 Volkamer Lemon 於外國較常用，而廣東檸檬則爲國內常用砧木，此類砧木除對黃龍病具耐病性外，另外對萎縮病毒 (CTV) 亦有強抗病性，然而此三種耐病砧木對鱗砧病 (CEV) 及疫病感病爲其弱點。枳橙類係橙類與枳殼之雜交種，最有名的有 Rusk, Troyer 及 Carrizo，本次所使用的 Troyer 爲美國加州常使用之砧木，在台灣並不常用，本試驗證實此類砧木遭黃龍病感染大多僅出現小葉情形而不黃化，亦可維持不錯之生長勢，極具利用價值。枳柚經本試驗證實亦爲對黃龍病具高耐病性砧木，此外其並具抗萎縮病毒 CTV、疫病菌、線蟲、耐寒、耐澇及耐鹽等特性，因此成爲世界搶手之砧木，可惜此類砧木對柑橘破葉病敏感，以枳殼或其雜交種 (枳橙或枳柚) 爲砧木之柑苗受破葉病毒 (CTLV) 感染時，會造成穗砧癒合部產生凹陷病徵，並使植株矮化 (Calavan *et al.*, 1963；Garnsey, 1970；Miyakawa, 1978)。而國內也因田間植株普遍帶有 CTLV 而使得這類良好砧木無法使用，甚爲可惜，不過由於柑橘脫毒技術的成熟，健康種苗的使用將可克服此 CTLV 危害的困難，因此此類砧木極具產業應用價值。木蘋果爲目前爲止所找出唯一對黃龍病具強抗病力之砧木，由於其非屬於柑橘屬，因此嫁接其上之柑橘接穗生長緩慢，其可能具有矮化樹種的潛力，但是否適合產業應用仍需研究評估。

本試驗重啓抗生素之治療試驗，期能解決目前田間黃龍病蔓延不止的情形以

及挽救柑橘老病株，使其持續生產高品質果實。因此在注射技術上的改進爲，(1) 以高壓灌注代替過去之重力灌注法：此法大大減少灌注時間，依照過去重力灌注法 500 ml 需灌注 3-7 天 (蔡及詹, 1978)，若以高壓法則 30-50 min 即可完成，再者四環黴素爲一光敏感性藥品，經陽光照射半天至 1 天即氧化，由淺黃變至深褐色，因此重力灌注法之藥劑在田間放置超過兩天效力可能已經很低了。(2) 提高灌注量與次數：本次抗生素灌注次數則改變過去單次灌注或只灌注發病枝，以 3 次高劑量及高壓力法全面連續灌注，發現確實能使其藥劑的分佈達到相當均勻的效果，經 1 年半幾乎皆恢復正常生長。甚至連達到病級數 Ⅳ 級全黃 + die back 程度，農民已經準備砍除之 30-50 年生罹病老株竟也可以此法恢復旺盛，並結下品質良好之果實，改善過去之報告柑橘老株治療效果差 (Schwarz *et al.*, 1974) 以及台灣文旦病株樹齡超過 20 年或發病程度中上之黃龍病株灌注效果不明顯之問題 (蔡, 1981)。

引用文獻

邱仁璋、蔡謀祐。1976。豐年 26: 20-21。

黃安利。1987。柑橘立枯病病原菌之形態與消長動態之電顯研究。臺灣大學植物病蟲害研究所博士論。148 頁。

蔡雲鵬。1978。興農月刊 109: 23-25。

蔡雲鵬。1981。四環黴素對文旦果實品質之影響。果農合作 408: 18-20。

蔡雲鵬、詹芳雄。1978。柑桔立枯病壓力灌注鉑黴素試驗。第 14 頁。關西柑橘試驗場 66 年年報。48 頁。

Calavan, E. C., D. W. Christiansen, and C. N. Roistacher. 1963. Symptoms associated with tatter-leaf virus infection of Troyer citrange rootstock. Plant Dis. Rep. 47: 971-975.

Capoor, S. P., D. G. Rao, and S. M. Viswanath. 1967. *Diaphorina citr* Kuwayama, a vector of the greening disease of citrus in India. Indian J. Agr. Sci. 37: 572-576.

da Graca, J. V. 1991. Citrus greening disease. Annu. Rev. Phytopathol. 29: 109-136.

Garnsey, S. M. 1970. Viruses in Florida’s Meyer lemon trees and their effects on other citrus. Proc. Fla. State Hort. Soc. 83: 66-71.

Huang, C. H., and C. A. Chang. 1980. Studies on the relation of mycoplasma-like organism with the decline of Wentan pummelo in Taiwan. J. Agric. Res. China 29: 13-19.

Hung, T. H., M. L. Wu, and H. J. Su. 1999. Development of a rapid method for the diagnosis of citrus greening disease using the polymerase chain reaction. J. Phytopathol. 147: 599-604.

Martinez, A. L., D. M. Nora, and A. L. Armedilla. 1970. Suppression of symptoms of citrus greening disease in the Philippines by treatment with tetracycline antibiotics. Plant Dis. Rep. 54: 1007-1009.

Matsumoto, T., M. C. Wang, and H. J. Su. 1961. Studies on Likubin. 121-125 pp. *In* Proceedings of 2nd conference of the international organization of citrus virologists. W. C. Price ed. University of Florida, Gainesville, 265 pp.

Miyakawa, T. 1978. A bud-union disorder of Japanese citrus on Poncirus trifoliate rootstock caused by tatter leaf virus. Rev. Plant Prot. Res. 11: 1-10.

Miyakawa, T. 1980. Experimentally induced symptoms and host range of citrus likubin (greening disease). Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 46: 224-30.

Schwarz, R. E., J. N. Moll, and S. P. van Vuuren. 1974. Control of citrus greening and its psylla vector by trunk injections of tetracyclines and insecticides. 26-29 pp. *In* Proceedings of the 6th Conference of the International Organization of Citrus Virologists. L.G. Weather, and M. Cohen, eds. University of California. Berkeley. 232 pp.

Schwarz, R. E., and S. P. van Vuuren. 1971. Decrease in fruit greening of sweet orange by trunk injection of tetracyclines. Plant Dis. Rep. 55: 747-750.

Su, H. J., and S. C. Chang. 1976. The responses of the likubin pathogen to antibiotics and heat therapy. 22-26 pp. *In* Proceedings of the 7th Conference of the International Organization of Citrus Virologists. E. C. Calavan, eds. University of California. Riverside. 227 pp.

Su, H. J., and R. Y. Wu. 1979. Preliminary study on the etiology of Wentan pomelo decline. Natl. Sci. Counc. Sym. 1: 45-57.

Tsai, C. H., H. J. Su, Y. C. Liao, and T. H. Hung. 2006. First report of the causal agent of Huanglongbing ("*Candidatus* Liberibacter asiaticus") infecting kumquat in Taiwan. Plant Dis. 90: 1360.

Tsai, M. C., H. J. Su, and S. M. Garnsey. 1993. Comparative study on stem-pitting strains of CTV in the Asia countries. 16-19 pp. *In* Proceedings of the 12th Conference of the International Organization of Citrus Virologists. P. Moreno, J. V. da Graca, and L. W. Timmer, eds. University of California, Riverside. 471 pp.

The disease ecology and control of citrus huanglongbing

Chia-Hsin Tsai[1,3], Ting-Hsuan Hung[2], and Hong-Ji Su[2]

[1] Plant Pathology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, COA, Taichung, Taiwan, ROC
[2] Department of Plant Pathology and Microbiology, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, ROC
[3] Corresponding author, e-mail: tsaich@tari.gov.tw

Abstract

Huanglongbing (HLB) first occurred in northern Taiwan in 1951. Previously the HLB pathogen infected main citrus cultivars in Taiwan such as Ponkan mandarins, Tankan tangors and Liucheng sweet oranges whereas it did not infect pummelos. However, HLB pathogen began to infect pummelos in 1970s implying that the evolution of the pathogenicity occurred in recent decades. This study was designed to differentiate the strains of HLB bacteria (HLBB) through the bioassays with four indicator hosts. Four different HLBB strains were identified based on the results of their pathogenicity and virulence on indicator plants. Strain I was only pathogenic on mandarins and sweet oranges by inducing typical HLB symptoms. Strain Ⅱ was pathogenic with high virulence on all differential cultivars with fast multiplication rates. Strain Ⅲ only caused intermediate symptoms on mandarins and sweet oranges and mild symptoms on pummelos. Strain Ⅳ was a mild strain which could only infect but caused no symptoms on mandarins and sweet oranges. Strain Ⅱ was prevalent in fields. In field surveys, about 30% of citrus samples exhibiting yellows symptoms were infected by HLB and were popularly mix-infected with citrus viruses. Plants with mix-infection exhibited more severe symptoms than those infected only by HLBB. In order to understand the relations between HLB and various yellows symptoms showing in trees, samples of 6 different symptomatic patterns were collected from virus-free sweet orange field for comparison. After HLB inspection, the highest incidence of HLB was found in type 6 (72.3%). In the study of resistance/susceptibility of citrus cultivars to HLB disease, Ponkan and Tonkan were the most susceptible, Valenica sweet orange showed moderate in susceptibility, and Wentan, Eureka lemon and kumquat were tolerant cultivars. According the disease index, the rootstock cultivars were categorized into 4 types; they were susceptible, moderate tolerant, highly tolerant, and resistant type. In addition, the distribution of HLBB in infected trees was diverse and the seasonal dynamic of HLBB population was higher in spring and autumn. In chemotherapy, we improved the transfusion method based on Su and Leu's 1972 report. An infusion device was designed for analyzing the effect of various antibiotics in which tetracycline was shown to be better than penicillin-G. In field trials, all antibiotic formulas injected to old diseased pummelo trees with an air-pressured injector set at 80 lbs. could reduce disease index of HLB. Three applications of 1000

ppm tetracycline resulted in the best therapeutic efficacy. After treatments, pummelo trees recovered and produced normal fruits with good quality. This improved therapeutic procedure caused temporary phytotoxicity including vein browning, slender leaves, leaf scorching, and defoliation, but the injured trees would recover after half of a year.

Key words: Huanglongbing; pathogenicity; HLBB strains; chemotherapy; citrus cultivars

表 1. 柑橘黃龍病病菌系統之鑑別

Table 1. Pathological identification of HLBB strains using differential citrus cultivars

Strain	Differential cultivars of citrus			
	PM	LSO	WP	EL
I	3 /+++[a]	3 / +++	0 / -	0 / -
Ⅱ	3 / +++	3 / +++	3 / +++	3 / +++
Ⅲ	2 / ++	2 / ++	1 / +	0 / -
Ⅳ	0 / +	0 / +	0 / -	0 / -

[a] Disease index / PCR index

Notes: Disease index was graded 12 months after inoculation: 0, healthy looking without symptoms; 1, mild chlorotic symptoms; 2, intermediate symptoms including chlorosis, mottling with intermediate dwarfing; 3, typical greening symptoms including leaf yellow mottle and curling, vein-yellowing with distinct dwarfing. Pixel value (density count) index of the HLBB-specific band on agarose gel electrophoresis: -, pixel value< 50; +, 50 ~ <110; ++, 110 ~ < 170; +++, 170 ~ < 230; Differential cultivars were Ponkan mandarin (PM), Liucheng sweet orange (LSO), Wentan pummelo (WP) and Eureka lemon (EL).

表2. 各主要柑橘產區之黃化衰弱病株感染 HLB 及其與 CTV、CTLV 複合感染之比率

Table 2. Incidence of HLB and its complex infection with CTV and/or CTLV in yellow decline citrus trees

地點	品種	HLB 正反應株樹/檢測總株樹 (%)	HLB 與 CTV 或 CTLV 複合感染比率 (%)			
			HLB	HLB + CTV	HLB + CTLV	HLB+ CTV+ CTLV
1 新竹縣	椪柑	9/29 (31%)	0/9 (0%)	6/9 (66.7%)	0/9 (0%)	3/9 (33.3%)
	海梨柑	16/56 (29%)	0/16 (0%)	11/16 (68.8%)	0/16 (0%)	5/16 (31.2%)
	文旦	6/8 (75%)	4/6 (66.7%)	0/6 (0%)	2/6 (33.3%)	0/6 (0%)
2 苗栗縣	桶柑	13/49 (26.5%)	0/13 (0%)	9/13 (69.2%)	0/13 (0%)	4/13 (30.8%)
	椪柑	4/12 (33.3%)	0/4 (0%)	3/4 (75%)	0/4 (0%)	1/4 (25%)
	文旦	5/6 (83.3%)	4/5 (80%)	0/5 (0%)	1/5 (20%)	0/5 (0%)
3 雲林縣	文旦	25/77 (32.5%)	11/25 (44%)	2/25 (8%)	12/25 (48%)	0/25 (0%)
	白柚	15/36 (41.7%)	9/15 (60%)	0/15 (0%)	6/15 (40%)	0/15 (0%)
	西施柚	7/18 (38.9%)	4/7 (57.1%)	0/7 (0%)	3/7 (42.9%)	0/7 (0%)
	柳橙	12/42 (28.6%)	0/12 (0%)	1/12 (8.3%)	0/12 (0%)	11/12 (91.7%)
4 宜蘭縣	金柑	12/115 (10.4%)	0/12 (0%)	4/12 (33.3%)	0/12 (0%)	8/12 (66.7%)
	文旦	7/7 (100%)	5/7 (71.4%)	0/7 (0%)	2/7 (28.6%)	0/7 (0%)
5 花蓮縣	文旦	29/93 (31.2%)	16/29 (55.2%)	1/29 (3.4%)	12/29 (41.4%)	0/29 (0%)
	葡萄柚	9/20 (45%)	0/9 (0%)	7/9 (77.8%)	0/9 (0%)	2/9 (22.2%)
	明尼桔柚	10/23 (43.5%)	1/10 (10%)	6/10 (60%)	0/10 (0%)	3/10 (30%)
6 嘉義縣	柳橙	10/26 (38.5%)	0/10 (0%)	1/10 (10%)	0/10 (0%)	9/10 (90%)
	文旦	3/4 (75%)	3/3 (100%)	0/3 (0%)	0/3 (0%)	0/3 (0%)
7 屏東縣	檸檬	28/53 (52.8%)	18/28 (64.3%)	0/28 (0%)	10/28 (35.7%)	0/28 (0%)
	紅江橙	37/127 (29%)	37/37 (100%)	0/37 (0%)	0/37 (0%)	0/37 (0%)

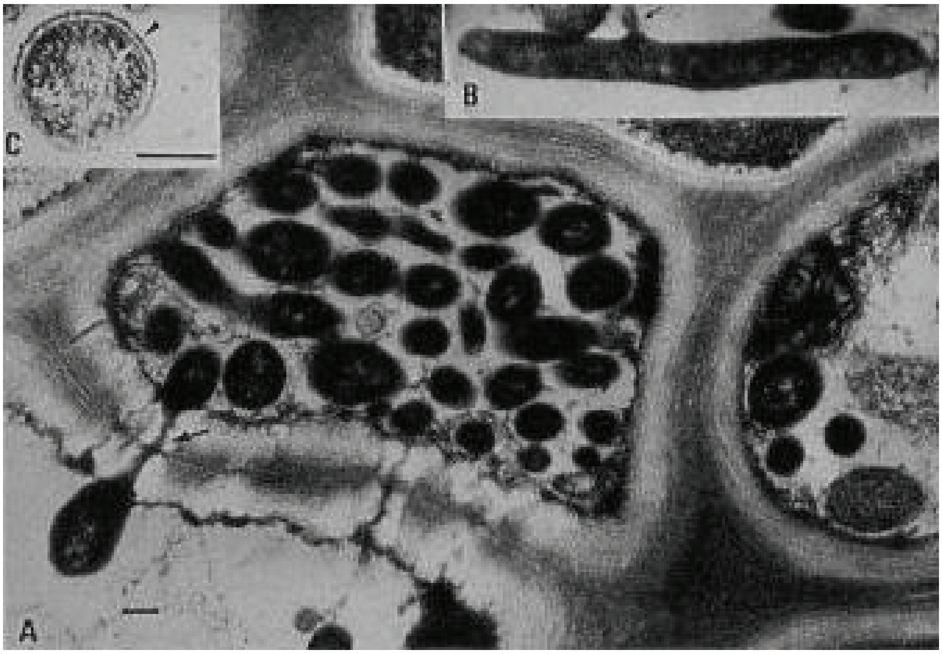


圖 1. 柑橘黃龍病菌之電顯圖。A 黃龍病原細菌於柑橘篩管細胞。B 表示為長桿狀菌體，側出芽生殖。C 為菌體橫切面，顯示具細胞壁與細胞膜。(黃及蘇, 1987)

Fig. 1. Electron micrograph of citrus Huanglongbing bacteria (HLBB). A. HLBB packed in sieve tube of Ponkan mandarin. B. The rod HLBB with side-budding. C. HLBB consisted of a cell wall and inner cytoplasmic membrane by cross-section. (Huang & Su, 1987)

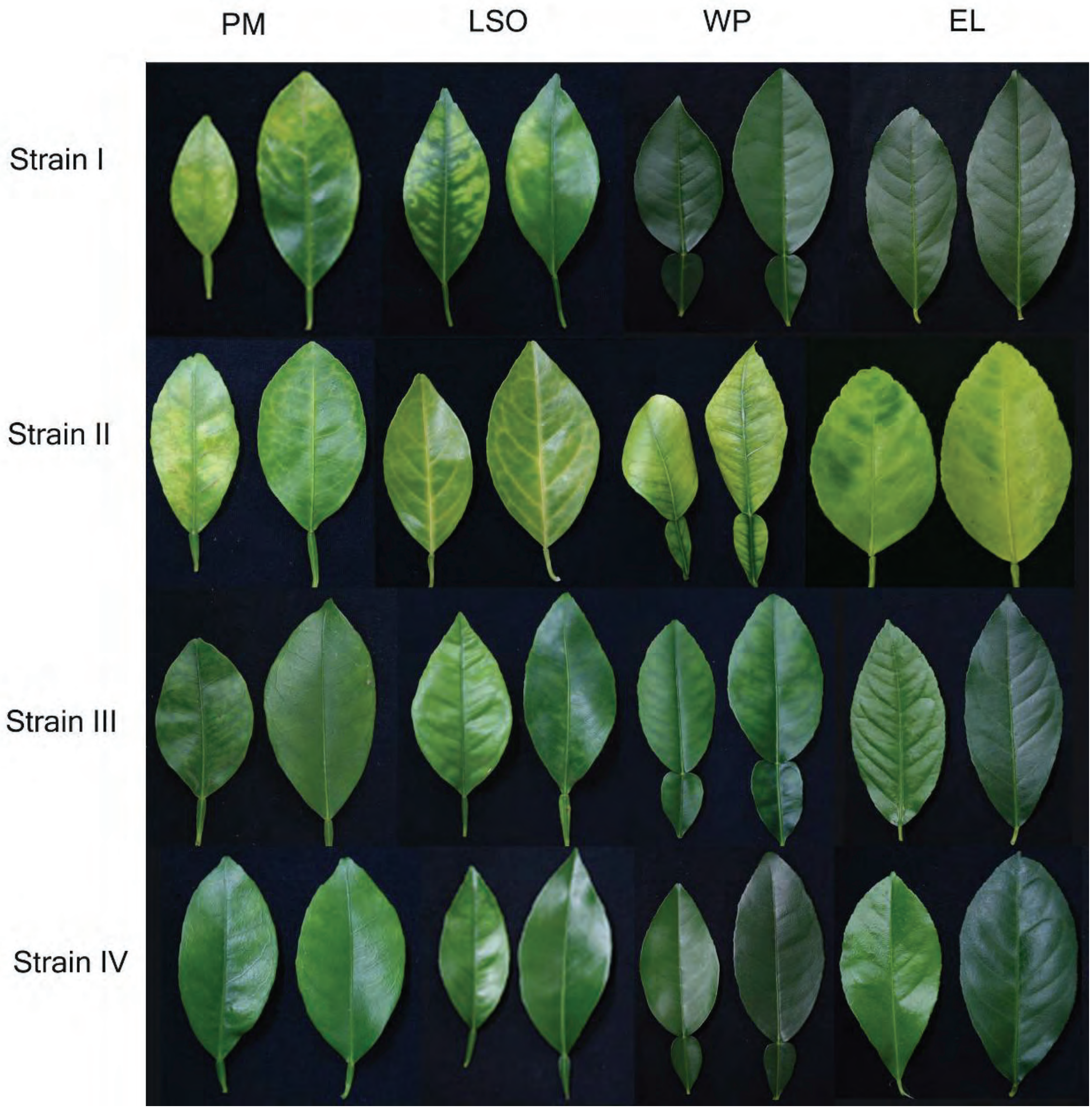


圖 2. 四種黃龍病菌系統於四種鑑別品種所引起之病徵。PM: 椪柑; LSO: 柳橙; WP: 文旦; EL: 尤利加檸檬。

Fig. 2. Different types and severities of the symptoms induced by the 4 HLBB strains (I~Ⅳ) in 4 differential citrus cultivars of Ponkan mandarin (PM), Liucheng sweet orange (LSO), Wentan pummelo (WP) and Eureka lemon (EL) under greenhouse conditions during 2005~2006.

圖 3. 六種田間常見之黃化褪色病徵型。第一型：輕度均勻褪色。第二型：葉肉對秤黃化，似缺鋅狀。第三型：葉肉不均勻褪色，似缺錳狀。第四型：葉脈黃化，葉肉仍呈綠色。第五型：整葉均勻黃化。第六型：整葉黃綠不均斑駁狀。

Fig. 3. Six types of chlorosis and yellow symptoms often observed in the field. Type 1: mild chlorosis. Type 2: Zinc- deficiency like symptom showing yellow blotches in mesophyll. Type 3: Manganese-deficiency like symptom showing chlorotic blotches in mesophyll. Type 4: uniform vein-yellowing. Type 5: whole leaf yellowing. Type 6: yellow mottling.

圖 4. 以改良式之耐高壓灌注器灌注抗生素於文旦病株。
Fig. 4. Transfusion of antibiotic solution by improved air-pressured plastic injector.

中國梨木蝨及其媒介病害梨衰弱病整合防治

張淑貞 [1,2] 王清玲 [1]

[1] 行政院農業委員會農業試驗所應用動物組
[2] 通訊作者 e-mail: scchang@tari.gov.tw

摘 要

危害梨樹上的木蝨統稱爲梨木蝨，台灣已知有兩種梨木蝨，包括 1994 年發現的黔梨木蝨 *Cacopsylla qianli* (Yang and Li) 及 2002 年發現的中國梨木蝨 *Cacopsylla chinensis* (Yang and Li)。前者田間密度低，現已甚少發現，後者爲目前台灣梨園主要害蟲。其危害方式除成蟲與若蟲直接以刺吸式口器吸食梨樹汁液外，尚會分泌蜜露誘發煤煙病。更甚者，中國梨木蝨更已經由傳病試驗確認會傳播梨衰弱病 (pear decline, PD)，引起梨樹萎凋、捲葉、葉色變紅，終至全株死亡。引起台灣梨衰弱病之植物菌質體有 2 種，即 PDTW 及 PDTWⅡ 植物菌質體，分別屬於第 10 群 (16SrX) 及第 2 群 (16SrⅡ) 植物菌質體。本文將介紹中國梨木蝨與梨衰弱病之生物習性、危害分布、傳病關係，並探討二者之整合防治方法。

關鍵詞：中國梨木蝨、梨衰弱病、植物菌質體病媒、整合防治

前 言

危害梨樹上的木蝨統稱爲梨木蝨 ，屬於半翅目(Hemiptera)、木蝨科 (Psyllidae)、*Cacopsylla* 屬。在歐美地區危害最嚴重的有 3 種，*Cacopsylla pyricola* (Foerster) 分佈在亞洲、北美、歐洲地區；*Cacopsylla pyri* (L.) 分佈在亞洲、北美、歐洲及非洲地區；*Cacopsylla pyrisuga* (Foerster) 分佈在亞洲及美洲地區 (CABI, 2011)。前述 3 種梨木蝨在台灣都未見分布紀錄。目前台灣已知有兩種梨木蝨，即在 1994 年發現的黔梨木蝨 *Cacopsylla qianli* (Yang and Li) (周及方, 1994) 及民國 2002 年發現的中國梨木蝨 *Cacopsylla chinensis* (Yang and Li) (楊等, 2004)。前者在台灣田間密度低，現已甚少發現，後者爲目前台灣梨園主要害蟲。

梨木蝨危害梨樹方式，除其成蟲與若蟲直接以刺吸式口器刺吸梨葉、花芽、幼果汁液，阻礙梨樹生長外，若蟲尚會分泌大量蜜露誘發煤煙病。有些種類甚且會傳播梨衰弱病 (pear decline, PD)，引發梨葉變紅、捲曲、樹勢衰弱萎凋，嚴重者甚至全株死亡。梨衰弱病係由梨衰弱病菌質體 (pear decline phytoplasma) 所引起，此植物菌質體 (phytoplasma) 僅侷限分布於植物韌皮部的篩管細胞及薄壁細胞，可經由嫁接 (grafting) 及媒介昆蟲傳播 (Jensen *et al.*, 1964; Schneider, 1970)。其中 3 種梨木蝨 *Cacopsylla pyricola* (Foerster)、*Cacopsylla pyri* (L.) 及中國梨木蝨都已經由實驗證實確可傳播梨衰弱病菌質體 (Carraro *et al.*, 1998; Garcia-Chapa

et al., 2005; Liu *et al.*, 2011)。本文將介紹中國梨木蝨之危害習性，中國梨木蝨在台灣之危害源起、概況，梨衰弱病之病原、病徵、危害現況、及其與中國梨木蝨間之關係，並探討二者之整合防治方法。

一、中國梨木蝨之危害習性

中國梨木蝨是目前中國大陸梨園之主要害蟲，有夏季淺色及冬季深色兩型態 (圖 1, 2)。西元 1950-1970 年僅爲梨園內次要害蟲，1981 年確定種名爲 *Cacopsylla chinensis* (Yang and Li) 與歐美主要種類不同 (楊及李, 1981)，1986 年後由於耕作制度的改變、害蟲抗藥性的產生及氣候等因素，使其發生日趨嚴重，造成梨園大面積早期落葉、果實污染，直接影響梨的產量和質量，成爲大陸梨樹生產中的重要難題 (李等, 2003)。

中國梨木蝨在 25℃ 時卵期 7-11 天，若蟲期 16-18 天，成蟲壽命 8-12 天，一世代時間約 31-41 天 (林, 2004)。產卵部位主要在葉面中肋，其次是葉緣。若蟲孵化後 24 小時內尾部即可分泌白色蠟質物，隨後分泌透明蜜露狀分泌物，若蟲可全身包埋於此分泌物中生活 (圖 3)。齡期增加，日排蜜量亦增加，25℃ 時整個若蟲期 1-5 齡 22.9 天，可排蜜露 6.3 mg (蓋等, 2000)。透明蜜露狀分泌物爲無色黏稠狀液體，似蜂蜜狀，甜味，易溶於水，pH 值爲 5，主要成分爲水 53.05%、單糖 19.1%、多糖 22.6%、氮 0.63% 及少量金屬元素，單糖中以葡萄糖比例最高 88.0%，果糖次之 8.1% (劉, 2001)。蜜露中之氨基酸以天門冬胺酸 (Aspartic acid) 42.1% 爲主，麩胺酸 (Glutamic acid) 27.5% 次之，與梨葉中主要氨基酸成分相同 (蓋等, 2000)。在無菌狀態下，其分泌物不發生黴變，黴變原因是因空氣中的黴菌附生所致，主要爲枝孢菌 *Cladosporium* spp. 及鏈格孢菌 *Alternaria alternata*。其中枝孢菌不能侵入植物組織不致使植物致病，鏈格孢菌則可以蜜露爲生長基質，侵入梨葉組織內生長繁殖，引起煤煙病 (圖 4) (李等, 2003)。透過顯微鏡觀察感染煤煙病梨葉，可見葉片表皮結構被破壞，皮孔和氣孔消失，由於沒有表皮保護，導致葉片組織脫水、乾枯，而致落葉 (徐等, 2000)。若蟲多躲藏在葉背，所以站在梨木蝨危害梨園內，抬頭往上尋找煤煙病痕跡，即可很容易找到中國梨木蝨若蟲。

由其生物性觀察可知中國梨木蝨對梨樹的危害可分爲直接危害及間接危害，直接危害係指若蟲及成蟲直接刺吸梨樹汁液，消耗梨樹營養，影響樹勢，引發落葉、落花、落果、果實生長不良，影響商品價值。間接危害係指梨木蝨分泌物被黴菌附生，在黴菌及其黴素的共同作用下，首先破壞表皮組織，進而危害葉肉細胞組織，使組織致病進而擴大，在葉面、果實及枝條上形成病斑，甚至引起早期大量落葉。直接危害及間接危害互相關連，而間接危害的嚴重性更甚於直接危害 (李等, 2003)。而中國梨木蝨若蟲在梨園和樹冠中的分佈屬聚集型分佈 (徐等, 1999)，造成梨樹單位面積上的大量分泌物，嚴重時甚至會使葉片之間沾黏，影響光和作用，引起早期大量落葉，阻礙梨樹生長。另一間接危害即爲傳播植物病原，將於文後詳述。

二、台灣地區梨木蝨危害源起

台灣的梨產業在光復後才漸具規模，1964 年生產面積 930 多公頃，到 1974 年發展高接技術後，生產面積快速成長至 10,000 多公頃，10 年間生產面積約成長 10 倍，1994 年迄今，每年生產面積約 9000 多公頃，但因種植技術進步，產量與之前 10,000 公頃之收穫量相當，其中高接梨的面積約 4500-4700 公頃，主要產區在中、低海拔山地，如台中市的東勢、和平、新社、后里、豐原、石岡，苗栗縣的卓蘭、大湖、三灣、通霄，新竹縣新埔，嘉義縣竹崎，台東縣卑南、關山，宜蘭縣三星、冬山，彰縣化二林、竹塘等地，產值逾 40 億台幣 (施, 2002)。梨為薔薇科 (Rosaceae) 梨屬 (*Pyrus*) 植物，台灣中、低海拔普遍栽種之橫山梨是在 100 多年前隨先民由華南引進，能適應當地氣候環境，但石細胞多、肉質硬、水分少、糖度低、酸味強，品質不若溫帶梨。高接技術是以橫山梨徒長枝高接幸水、豐水和新世紀等溫帶梨的花芽，生產品質類似溫帶梨之高接梨 (林等, 1991)。所以每年農民都需向高海拔地區購買穗條，如台灣的梨山地區，但因供穗量不敷所需，還需額外向日本、韓國購買穗條，而在引進穗條的同時，也相對擔負著病蟲害侵入的風險。

1994 年 6 月台中市和平、東勢兩地梨園陸續發生梨衰弱病，推估約有 200 公頃受害，政府採取砍除罹病植株策略，以防止此一病害之蔓延，至 2000 年底已砍除 14,394 棵發病梨樹 (呂及蘇, 1997; 陳等, 2001)。梨衰弱病在歐洲可經由梨木蝨傳播 (Carraro *et al.*, 1998)，農試所因此調查南投梅峰、台中東勢、佳陽 (靠近梨山) 等地梨園，首次在梨園中發現黔梨木蝨 *Cacopsylla qianli* (Yang and Li) (周及方, 1994)，但其田間密度低，再經農民連續施藥後，現已甚少發現。

2002 年 8 月台中新社白毛台地區又出現梨木蝨嚴重危害梨園，習性、型態皆不同於以往的黔梨木蝨。2003 年 4 月東勢、和平崑崙段及梨山地區也陸續傳出危害災情，8 月中旬更擴展至苗栗、卓蘭地區。此波梨木蝨疫情經農試所調查推論為中國梨木蝨，後亦經中興大學鑑定確認證實 (陳等, 2004；楊等, 2004；張及王, 2006)。2004-2006 年間，筆者每個月定期至東勢、和平梨園調查梨木蝨田間族群，2004 年在採得之 435 隻梨木蝨成蟲中，98.9% 為中國梨木蝨，2005 年在採得之 264 隻梨木蝨成蟲中，中國梨木蝨亦佔了 99.2%，2006 年在採得之 713 隻梨木蝨成蟲中，100% 為中國梨木蝨，至此已確認台灣梨園中之梨木蝨優勢種為中國梨木蝨。中國梨木蝨是大陸梨樹上的主要害蟲，在日本、韓國等其他國家則無發生記錄，據此推測這次中國梨木蝨蟲源可能是農民自大陸走私進口梨穗時帶入台灣。

三、台灣地區中國梨木蝨之危害概況

(一) 中國梨木蝨在台灣中部之發生期

2004-2005 年間，筆者在梨木蝨危害嚴重的台中東勢、和平地區，每地區各選 6 個梨園，每個梨園選取 3 株固定梨樹，每株梨樹在不同方位挑選 3 個枝條，以枝條敲擊法監測梨木蝨成蟲數目，即每個枝條以直徑 46 cm、長 90 cm 捕蟲網套入，在枝條基端搖晃 5 次，再檢查落入網袋內之梨木蝨

成蟲種類，記錄成蟲數目，每月調查 1 次，結果如圖 6、7。可觀察到中國梨木蝨的體色多變，夏季體色較淺，有綠色、黃色、米色，變化很大；越冬蟲體型較大、體色較深，爲褐色至暗褐色。在春季開始回暖、日照時間變長，約 2 月梨樹萌芽開花期，冬季深色型成蟲就開始產卵，這批卵隨即發育爲體色米色、綠色，體型較小的淺色型若蟲、成蟲。2-3 月梨樹幼果期開始可見第一代淺色型成蟲，此時果園若有即時進行施藥，田間梨木蝨族群將可獲得控制。3 月下旬族群密度漸漸上升，6、7 月梨果採收期農民多會停止施藥，此時爲梨木蝨一年中的發生高峰期。農民若定期約 2 週至 1 個月施藥 1 次，田間梨木蝨族群多維持在低密度。但有些梨園在山坡地、園中無自動噴藥系統、或爲採收方便刻意壓低梨樹枝條，導致梨園中難以行走，都會降低農民噴藥意願，致園中梨木蝨族群高居不下，成爲附近梨園梨木蝨族群持續侵入的起源點，其他梨園若不持續施藥，則梨木蝨族密度隨時會再提高。7 月底台灣進入颱風季，連著數個颱風帶來強風豪雨，梨木蝨田間族群密度陡降，8 月下旬田間開始可見深色型若蟲。8 月底高接梨陸續採收完畢，梨樹進入營養蓄積期，此時若不持續施藥，9 月雨量減少，梨木蝨族群密度會再度上升。9 月中旬開始出現深色型越冬成蟲，體型較大，不再產卵，田間梨木蝨族群密度逐漸降低。11 月梨樹進入休眠期，農民陸續施用落葉劑強迫梨樹落葉，通常會伴隨施用殺蟲劑，大部分梨園內已不見梨木蝨，但有少部分梨園並不強迫落葉，可提供梨木蝨棲息。而東勢、和平地區要到隔年 2 月梨樹才會自然落葉，此時有強迫落葉梨園的梨樹已開始冒出新芽，繼續提供梨木蝨棲所。而因東勢、和平地區冬季低溫平均仍有 10℃ 以上，日照長度亦較大陸北方長，使得源自大陸北方具越冬習性的中國梨木蝨，在台灣的越冬習性也有了變化，2004 年 1 月即觀察到有少部分越冬成蟲已開始產卵，其越冬習性的變化值得後續密切注意。

至於在海拔高度較高之南投仁愛梨樹栽培區，則以 7 月及 11 月底的族群數量最多。不同顏色黏紙對中國梨木蝨成蟲的誘引效果則以黃色黏紙最佳，綠色黏紙次之 (王, 2005)。另外中國梨木蝨在中國大陸河北之越冬場所主要爲梨園的落葉、枯草間，占越冬總量的 69.97-87.5%，其次爲樹幹 50 cm 以下的樹皮縫隙中 3.6-25%，樹幹 50 cm 以上較少，但隨著樹齡的增加，越冬部位也隨之上移 (李等, 2003)。東勢、和平地區梨園因管理方式不同，加以氣溫較高，全年可見梨葉，越冬成蟲可在其上棲息。中國梨木蝨寄主頗爲專一，一般僅危害梨樹，2005 年 7 月筆者發現在海拔較高之梨山地區福壽山農場梨木蝨密度很高時，每枝條即有 14.2 隻梨木蝨成蟲時，在梨及蘋果混植區才偶見梨木蝨成蟲棲息在蘋果葉上，但檢視葉片皆未見其卵。Horton (1994) 在美國冬天梨園落葉時亦觀察到 *Cacopsylla pyricola* 越冬蟲有遷移至梨園附近蘋果園中的現象。

(二) 梨木蝨猖獗發生原因

台灣梨園目前主要害蟲有中國梨木蝨、東方果實蠅、梨綠蚜及二點葉蟎，而使梨木蝨成爲主要害蟲的原因與中國大陸相仿，都因：(1) 大量使用

廣效性殺蟲劑誤殺天敵；(2) 梨木蝨若蟲分泌大量蜜露，隱匿在的蜜露狀分泌物中使藥劑難以滲透、接觸蟲體；(3) 梨木蝨成蟲能飛會跳，活動範圍大，世代重疊，為害期長；(4) 果園分散經營管理，難以進行共同防治；(5) 樹下和果園周圍的雜草，可供梨木蝨隱匿；(6) 只注重梨樹生長期施藥而忽視梨樹休眠期的防治；(7) 長期使用相同藥劑使梨木蝨產生抗藥性；(8) 依賴藥劑防治，忽視綜合防治 (郝, 2000)。在台灣更因梨高接技術的普遍，梨木蝨易由梨穗的買賣而蔓延，而增添梨木蝨危害變因。

(三) 梨木蝨發生地區

中國梨木蝨在 2002、2003 年嚴重危害台中東勢、新社、和平、梨山，南投縣仁愛鄉及苗栗縣卓蘭等地，2004 年經篩選、推薦藥劑並進行梨木蝨共同防治後，上述地區之梨木蝨田間危害狀況已較緩和。但經梨樹接穗所需之穗條供應流通，梨木蝨也已漸次蔓延至新竹縣尖石、芎林地區、桃園縣拉拉山地區及台東縣卑南地區。

四、 梨衰弱病之危害狀況

(一) 梨衰弱病之分類現況

梨衰弱病係由梨衰弱病菌質體 (pear decline phytoplasma) 所引起。植物菌質體 (phytoplasma) 隸屬於柔膜菌綱 (Mollicutes)，無細胞壁、多型性，對四環黴素敏感，在世界各地引起的病害已超過 300 多種 (Agrios, 2005)。因無法以人工培養，僅能在罹病植株之韌皮部組織及蟲媒昆蟲體內，以 DAPI (4`-6`-diamisino-2-phenylindole) 染色後在螢光顯微鏡下，或以電子顯微鏡觀察才看得到 (Seemüller, 1976)，分類困難。近來因為分子生物技術蓬勃發展，得以由 PCR 技術增幅其 DNA，藉由分析 DNA 組成的輔助，才使得菌質體的分類有長足的進展。而因多數菌質體皆可感染 2 種以上的植物，單一種植物也可受多種菌質體感染，使得難以用寄主範圍作為分類依據；而其病徵也很容易與其他病原引起的病徵混淆。所以 2004 年 International Research Project for Comparative Mycoplasmology (IRPCM) 的植物菌質體工作團隊決議以‘*Candidatus* Phytoplasma‘ 為屬名，寄主植物名稱為種名，作為植物菌質體的學名。並以 16S rDNA 的序列為依據，將植物菌質體分為 15 群 (16SrI~16SrXV)，各群 (group) 下有多個亞群 (subgroup)、多個種 (species)，原則上在 1200 bp 以上的 16S rDNA 序列中，序列相似度 (identity) 大於 97.5% 時，視為相同的種；但當其寄主、蟲媒明顯不同，序列又有明顯變異時，仍可將其分為不同種 (IRPCM, 2004; Bertaccini, 2007)。

目前已知會引起梨衰弱病之植物菌質體分屬於第 10 群 (16SrX) 及第 2 群 (16SrⅡ)。其中引起歐洲及北美洲梨樹梨衰弱病 (PD) 之梨衰弱病菌質體為 *Candidatus* Phytoplasma pyri (16SrX-C)，與引起歐洲 apple proliferation (AP) 病害之 ‘*Candidatus* Phytoplasma mali’ (16SrX-A)，及歐洲與土耳其 European stone fruit yellows (ESFY) 病害之 ‘*Candidatus* Phytoplasma

prunorum' (16SrX-B)，都同屬於第 10 群 (16SrX)，三者序列雖僅差異 1.0-1.5%，但因寄主及蟲媒明顯不同，故仍視爲 3 種植物菌質體，分別給予不同的學名 (Seemuller & Schneider, 2004)。至於在澳洲南部發現之梨衰弱病，其植物菌質體則與引起甘薯小葉病 (sweet potato little leaf, SPLL) 之植物菌質體相近，同屬於第 2 群 (16SrⅡ) (Schneider & Gibb, 1997)。

近來藉由 PCR 技術增幅台灣梨衰弱病菌質體的 rDNA，已確認台灣發現之梨衰弱病菌質體有兩種，分屬於第 10 群 (16SrX) 的台灣梨衰弱病 (pear decline-Taiwan, PDTW) 植物菌質體，及隨後發現的第 2 群 (16SrII) PDTWⅡ 植物菌質體 (Liu *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2011)。

(二) 梨衰弱病之病徵

不同群的菌質體造成的罹病梨樹外部病徵不盡相同。由第 10 群 (16SrX) 菌質體引起，在歐美分布最廣泛的梨衰弱病，其病徵可能導致罹病梨樹急速衰弱 (quick decline)、慢性衰弱 (slow decline)、捲葉 (leaf curl) 及紅葉 (abnormall colors)等，這些病徵可能單獨出現或合併出現。其中急速衰弱是指梨樹罹病後快速萎凋，葉片轉成暗紅、乾燥，罹病後幾天至數週即死亡，當罹病株面臨高溫、乾旱之環境壓力時，較易發生，如夏、秋兩季。而這些病株在死亡前，有些會出現捲葉及紅葉等病徵。罹病梨樹慢性衰弱則常會伴隨捲葉及紅葉病徵，通常秋季時罹病株會提早出現紅葉、提早落葉，春季時新生葉片較少且葉形較小，新生枝條及花芽亦少，著果量減少，果實發育不良導致小果及提早落果，此慢性病徵會隨罹病植株之抗病性不同，反覆發生數年，樹勢漸趨衰弱、死亡 (Agrios, 2005)。第 2 群 (16SrⅡ) 菌質體在澳洲造成之梨衰弱病病徵與上述略有不同，並無捲葉及紅葉的病徵，但同樣有產量變少、樹勢衰弱，由枝條末稍逐漸枯萎死亡的症狀 (Schneider & Gibb, 1997)。

(三) 台灣梨衰弱病之危害概況

台灣在 1994 年 6 月，台中東勢、和平地區第一次傳出梨衰弱病疫情。其中罹病梨樹急速衰弱者約佔 2%，病株全株葉片呈現脫水狀、變紅，3-4 個月即死亡，最慢隔年也會死亡，常發生於樹齡 10 年以上的梨樹，經大量砍除後已不復見此病徵。罹病梨樹慢速衰弱者，發病多由一個枝條發生，再擴展至其他枝條，被害梨樹無歐美常見梨衰弱病之典型捲葉角度極大的現象，僅在發病葉緣兩側有輕微 30° 內捲的病徵 (圖 5)，葉片由邊緣向內轉紅後擴及全葉，紅葉現象可持續至落葉。分布範圍侷限在大雪山 10-15K 道路附近，海拔 875-1000 m 間。(呂及蘇, 1997； 陳等, 2001)。

(四) 台灣梨衰弱病與梨木蝨的關係

因梨衰弱病可經由嫁接及媒介昆蟲傳播，而歐洲梨衰弱病已確定可經由梨木蝨傳播，農試所因此調查梨園內木蝨發生狀況，1994 年首度在南投梅峰梨園發現黔梨木蝨，隨後又在台中東勢往大雪山道路 13K 附近，梨衰弱病發生嚴重梨園採得該木蝨 (周及方, 1994)。當時由罹病園採集黔梨木蝨至盆栽梨樹上，2 年後仍未見發病 (呂及蘇, 1997)。1996 年梨衰弱病疫情已

趨輕微，面積似未再擴大，黔梨木蝨在梨園定期施藥後也已不復見。

2002 年 8 月台中新社白毛台地區又出現梨木蝨嚴重危害梨園，習性、型態皆不同於以往的黔梨木蝨，並快速擴散至各梨產區，後經確認此爲中國梨木蝨。此波梨木蝨疫情重新激起梨衰弱病範圍擴大疑慮，2002-2004 年，藉由隸屬於第 10 群的 PDTW 菌質體專一性 PCR 檢測技術，調查台中東勢和平地區罹病梨樹中 PDTW 菌質體含量之季節性變化，得知罹病梨樹中之菌質體檢出率在春季 3-5 月間開始上升，夏季 6-9 月間檢出率最高，冬季落葉期檢出率則爲零 (劉及林, 2007)。之後在這些罹病園內的中國梨木蝨及黔梨木蝨體內也檢測出梨衰弱病 PDTW 菌質體，夏秋兩季蟲體帶菌率較高，冬季則未能檢出。同時亦在中國梨木蝨體內發現隸屬於第 2 群的 PDTWⅡ 菌質體，隨後也從罹病園內呈現明顯病徵的梨葉內，增幅出此種菌質體。2005 年 8 月在新竹尖石地區的中國梨木蝨體內亦同時檢出這 2 種菌質體，隔年當地梨樹隨之出現梨衰弱病紅葉與捲葉病徵，並可以 PCR 增幅出這 2 種菌質體 (劉等, 2007; Liu *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2011)。由此得知梨衰弱已由台中擴散至新竹地區。

五、中國梨木蝨與梨衰弱病之整合防治

經由中國梨木蝨吸食傳菌試驗，證實台灣梨衰弱病的 2 種植物菌質體 PDTW、PDTWⅡ 植物菌質體，都可經由中國梨木蝨傳播至梨株。嫁接傳菌試驗亦可將罹病枝條中的 PDTW、PDTWⅡ 植物菌質體傳至日日春植株 (Liu *et al.*, 2011)。以罹病梨穗嫁接於砧木 (橫山梨)，隔年砧木長出之新芽亦帶病徵 (陳等, 2001)。由此可見梨園梨木蝨及接穗是此病害傳播的重要因素。防治中國梨木蝨及梨衰弱病，是梨樹健康管理的重要關鍵，茲將梨園內中國梨木蝨、及梨衰弱病之管理羅列如下。

(一) 中國梨木蝨之防治

化學防治

2002 年 8 月台灣中部首次發現梨木蝨危害後，動植物防疫檢疫局立即補助經費協助農民進行共同防治。2003 年東勢、和平地區普遍發生嚴重，防檢局更曾多次召開防治策略研商會議，報請農委會核准使用兩種緊急防治藥劑益達胺、亞滅培，訂定梨木蝨綜合防治曆，並宣導農民確實進行共同防治。

其後根據農藥管理法，進行梨木蝨農藥田間試驗，目前經農藥技術諮議委員會審查通過，正式推薦的藥劑有 11% 百利普芬乳劑 2000 倍、5.87% 賜諾特水懸劑 2400 倍、16% 可尼丁水溶性粒劑 2000 倍、20% 達特南水溶性粒劑 2000 倍、9.6% 益達胺溶液 1500 倍、99% 礦物油乳劑 300 倍、18.3% 芬殺蟎水懸粉劑 3000 倍、25% 布芬淨可濕性粉劑 1500 倍 (費及王, 2010)。這些藥劑在梨木蝨發生時，每隔 7 天施藥一次，連續兩次。除礦物油無安全採收期限制外，其餘藥劑施用後 10 天才可採收。施藥時可選擇數種藥劑輪流使用，減緩抗藥性的發生。另於梨樹休眠期進行落葉、清園

管理時，可施用 80% 硫磺可濕性粉劑 400 倍及上述推薦藥劑，徹底清園降低越冬成蟲密度，此可大幅減緩來年春天梨木蝨發生數量，及延緩其發生。另因梨木蝨活動性強，藥劑施用時聯絡鄰近果園共同施藥防治，可達最佳防治效果。

而因梨木蝨若蟲會分泌大量蜜露、隱匿其中之特性，加以誘發煤煙病後，會躲藏在煤煙病痂皮及較大齡若蟲蛻皮下，施用藥劑不易直接接觸到蟲體，所以施用系統性藥劑的效果會較觸殺類型的藥劑效果好。

生物防治

2004-2006 年間，筆者在台灣中部梨園定期調查與中國梨木蝨同時發生之天敵，計有基徵草蛉 *Mallada boninensis* (Okamoto)、小黑瓢蟲 *Cryptogonus ohtai*、龜紋瓢蟲 *Propylea japonica*、錨紋瓢蟲 *Lemnia biplagiata* 及六條瓢蟲 *Menochilus sexmaculatus*，其中又以基徵草蛉及小黑瓢蟲最爲常見。在大陸河北地區梨園則以龜紋瓢蟲爲優勢種，七星瓢蟲 *Coccinella septempunctata* 及異色瓢蟲 *Harmonia axyridis* (Pallas, 1773) 次之 (金等, 1999)，實驗室內則可觀察到異色瓢蟲對中國梨木蝨若蟲有很大的控制潛力 (蓋等, 2001)。但因台灣梨園冬季會定期清園管理，平時則普遍定期施藥，天敵保育不易，在梨園外增設樹籬保護天敵 (Rieux *et al.*, 1999)，或在梨園內間作香草植物 (魏等, 2010)，或可增進天敵保育之效。

其他防治方法

除了藥劑防治外，根據梨木蝨的危害習性及梨園管理狀況，尚可共同採用下列措施進行防治：(1) 冬季落葉、清理果園時全面施用藥劑，減少越冬蟲數；(2) 春天梨樹開始冒出新葉後即連續定期施藥，此時梨木蝨越冬成蟲開始出來產卵，初孵出的初齡若蟲對藥劑敏感，較易防治，待若蟲較大，開始分泌蜜露時，藥劑不易接觸蟲體，即很難防治；(3) 梨果套袋亦可避免梨木蝨在果柄及果臍處藏匿危害，但在套袋前最好全園施藥一次，待藥液乾後，即迅速套袋，封口時需將鉛線緊貼果梗確實封好，以避免梨木蝨若蟲爬入危害。(4) 梨木蝨成蟲具飛翔能力，防治時宜採區域共同防治，以提高防治效果。

(二) 梨衰弱病之防治

化學防治

植物菌質體因有對四環黴素敏感的特性，美國曾在梨衰弱病罹病園內，大規模使用四環黴素防治梨衰弱病，在梨果收穫及梨樹落葉期間，由樹幹注射藥液，之後隔年或 2 年後再注射。處理後樹勢明顯恢復，產量亦爲注射前之 2 倍，爾後再度出現病徵時再繼續注射 (Beutel *et al.*, 1977)。但因抗生素主要在莖部傳輸，只有極少部分到根部，因此對在根部內的菌質體影響較小，因此當抗生素藥效消退時，根部內的菌質體會再擴展至莖部。而冬季時篩管自然退化，菌質體也因此只能潛藏在根部越冬，待來年春季新的韌皮部生成時，再重新侵染地上部組織 (Schaper & Seemuller, 1982)。因此適合在早春及初夏注射低劑量，果實採收後則採高劑量注射防治。

其他防治方法

因已確定嫁接及中國梨木蝨都會傳播梨衰弱病，所以除了上述梨園梨木蝨管理之外，接穗來源確定無罹病也很重要，尤其是供穗梨園的嚴謹管理更爲重要。罹病株若症狀嚴重，建議砍除病株，以免擴散。梨果收穫後，則施用有機肥，蓄積營養、強健梨樹。另因梨衰弱病好發於高溫乾旱逆境，適時適量補充梨園給水，也能提升梨樹抗病力。

結 論

在國際貿易頻繁的情形下，台灣隨時面臨害蟲入侵的威脅。中國梨木蝨是近年入侵的重要害蟲，重創了台灣具高經濟價值的梨產業，增添許多防治成本，亦增添梨衰弱病擴散風險，農民、政府都爲此付出重大代價，頻繁使用藥劑對自然生態造成的影響更是嚴重。若能加強梨木蝨防治，監測田間族群發生量，及時撲殺降低第一代若蟲數，宣導農民正確用藥觀念，延緩害蟲抗藥性產生時間，整合農民共同防治，將可有效防治梨木蝨。而梨園梨木蝨受到控制，也相對降低梨衰弱病擴散風險。若能再確認接穗穗條之健康無罹病，充分供應果園給水，施用有機肥、強健樹勢，將可提高梨樹抗病性，落實梨樹健康管理。

引用文獻

王文哲。2005。中國梨木蝨之生態與防治。梨栽培管理技術研討會專集 355-366。

李大亂、王鵬、張翠疃。2003。中國梨木蝨研究現狀及防治綜述。山西果樹 4: 30-31。

呂理燊、蘇秋竹。1997。梨新病害之發現與預防。植保會刊 39: 23-32。

金廣峰、徐海燕、李金成。1999。天敵瓢蟲對梨木蝨的控制作用及其應用。河北果樹 1: 14。

周梁鎰、方尚仁。1994。台灣新發現黔梨木蝨。中華農業研究 43: 467-468。

林映秀。2004。梨園木蝨之生態特性及防治簡介。農業世界雜誌 247: 8-12。

林嘉興、廖萬正、林信山、林長仁。1991。橫山梨高接溫帶梨試驗研究初步報告。台灣農業 15: 29-39。

施昭彰。2002。論台灣梨產業入世後之情勢及台梨的競爭優勢與作爲。農業世界 226: 48-55。

徐國良、李大亂、張翠疃。1999。中國梨木蝨若蟲空間分布及取樣技術。河北林果研究 14: 81-85。

徐國良、李大亂、張翠疃、劉敬蘭、周鴻娟。2000。中國梨木蝨分泌物霉變條件及其危害研究。河北農業大學學報 3: 80-82。

陳淑佩、翁振宇、張淑貞、王清玲。2004。台灣梨樹害蟲及天敵種類變化之長期觀察。農業世界雜誌 247: 18-22。

陳慶忠、劉添丁、林長平、郭克忠。2001。台灣疑似梨衰弱病問題之探討。植物保護學會會刊 43: 1-5。

張淑貞、王清玲。2006。中國梨木蝨之入侵及防治。行政院農業委員會農業試驗所技術服務 66: 12-15。

費雯綺、王喻其。2010。植物保護手冊。http://www.tactri.gov.tw/htdocs/ppmtable/。

楊曼妙、黃智弘、李法聖。2004。台灣 *Cacopsylla* 屬 (半翅目：木蝨科) 之一新紀錄種。台灣昆蟲 24: 213-220。

楊集昆、李法聖。1981。梨木蝨考—記七新種。昆蟲分類學報。3: 35-47。

蓋英萍、冀憲領、劉玉升、孫緒艮、劉華琳。2000。中國梨木蝨若蟲的排蜜規律及蜜露中氨基酸成分的研究。昆蟲知識 37: 333-335。

蓋英萍、冀憲領、劉玉升、孫緒艮。2001。異色瓢蟲對中國梨木蝨若蟲的捕食作用。植物保護學報 28: 285-286。

劉秀玲、林長平。2007。台灣梨衰弱病菌質體檢測技術之研發與應用。植病會刊 16: 1-10。

劉秀玲、劉淑玲、楊曼妙、林長平。2007。台灣梨衰弱病之媒介昆蟲與發病生態之探討。植物保護學會會刊 4: 13-26。

劉敬蘭。2001。中國梨木蝨分泌物組成及霉變原因研究 (簡報)。河北農業大學學報 24: 110-112。

魏巍、孔雲、張玉萍、王美超、李振茹、姚允聰。2010。梨園芳香植物間作區中國梨木蝨與其天敵類群的相互作用。生態學報 30: 2063-2074。

Agrios, G. N. 2005. Plant diseases caused by mollicutes: phytoplasmas and spiroplasmas. Pages 687-703 in: Plant pathology, 5th ed. G. N. Agrios ed. Academic Press, San Diego, CA.

Bertaccini, A. 2007. Phytoplasmas: diversity, taxonomy, and epidemiology. Front. Biosci. 12: 673-689.

Beutel, J. A., W. J. Moller, and F. D. Cress. 1977. Research Review: Antibiotic infections control pear decline disease. Calif. Agr. 31: 12-13.

CABI. 2011. Crop Protection Compendium. CAB International, Wallingford, Oxon, UK.

Garcia-Chapa, M., J. Sabate, A. Lavin, and A. Batlle. 2005. Role of *Cacopsylla pyri* in the epidemiology of pear decline in Spain. Eur. J. Plant Pathol. 111: 9-17.

Carraro L., N. Loi, P. Ermacora, A. Gregoris, and R. Osler. 1998. Transmission of pear decline by using naturally infected *Cacopsylla pyri*. Acta Hort. 472: 665-668.

Horton D. R., E. C. Burts, T. R. Unruh, J. L. Krysan, L. B. Coop, and B. A. Croft. 1994. Phenology of fall dispersal by winterform pear psylla (Homoptera: Psyllidae) in relation to leaf fall and weather. Can. Entomol. 126: 111-120.

IRPCM Phytoplasma/Spiroplasma Working Team - Phytoplasma Taxonomy Group: Description of the genus '*Candidatus* Phytoplasma', a taxon for the wall-less nonhelical prokaryotes that colonize plant phloem and insects. 2004. Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 54: 1243-1255.

Jensen, D. D., W. H. Griggs, C. O. Gonzales, and H. Schneider. 1964. Pear decline virus transmission by pear psylla. Phytopathol. 54: 1346-1351.

Liu H. L., C. C. Chen, C. P. Lin. 2007. Detection and identification of the phytoplasma associated with pear decline in Taiwan. Eur. J. Plant Pathol. 117: 281-291.

Liu S. L., H. L. Liu, S. C. Chang, and C. P. Lin. 2011. Phytoplasmas of two 16S rDNA groups are associated with pear decline in Taiwan. Bot. Stud. 52: *In Press*.

Rieux R., S. Simon, and H. Defrance. 1999. Role of hedgerows and ground cover management on arthropod populations in pear orchards. Agric. Ecosyst. Environ. 73: 119-127.

Schaper, D., and E. Seemuller. 1982. Conditions of the phloem and the persistence of mycoplasmalike organisms associated with apple proliferation and pear decline. Phytopathol. 72: 736-742.

Schneider, H. 1970. Graft transmission and host range of the pear decline causal agent. Phytopathol. 60: 204-207.

Schneider, B., and K. S. Gibb. 1997. Detection of phytoplasmas in declining pears in southern Australia. Plant Dis. 81: 254-258.

Seemüller, E. 1976. Investigations to demonstrate mycoplasmalike organisms in diseased plants by fluorescence microscopy. Acta Hortic. 67: 109-111.

Seemuller, E. and B. Schneider. 2004. `*Candidatus* Phytoplasma mali', '*Candidatus* Phytoplasma pyri' and '*Candidatus* Phytoplasma prunorum', the causal agents of apple proliferation, pear decline and European stone fruit yellows, respectively. Int. J. Syst. Evo. Microbiol. 54: 1217-1226.

Integrated control of pear psylla *Cacopsylla chinensis* and pear decline

Shu-Chen Chang[1*] and Chin-Ling Wang[1]

[1] Applied Zoology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Taichung, Taiwan, ROC
[*] Corresponding author, e-mail: scchang@tari.gov.tw

Abstract

Pear psyllids are a group of psylla that infests pear trees. There are two pear psyllids found in pear orchards in Taiwan. *Cacopsylla qianli* (Yang and Li) was first reported in 1994, but it is rarely seen today. Later on, the other psylla, *Cacopsylla chinensis* (Yang and Li) discovered in 2002 has become the most economically important pest in pear orchards in Taiwan. They damage pear trees by sucking the tree with piercing mouth and excreting the honeydew which caused the black sooty mould. *C. chinensis* was confirmed as the vector of the pear decline (PD) disease by transmission trails. There are two types of PD-infecting phytoplasma, PDTW (16SrX) and PDTWⅡ(16SrⅡ), that cause pear decline, leaf curl and abnormal reddening of leaf colors in Taiwan. The biology, distribution, and transmission of *C. chinensis* and pear decline and the integrated control measure for both collectively were to be discussed.

Key words: *Cacopsylla chinensis*, pear decline disease, phytoplasma vector, integrated control measure

圖 1. 中國梨木蝨淺色型成蟲。
Fig. 1. Adult summer form of pear paylla *Cacopsylla chinensis*.

圖 2. 中國梨木蝨深色型越冬成蟲。
Fig. 2. Adult winter form of pear paylla *Cacopsylla chinensis*.

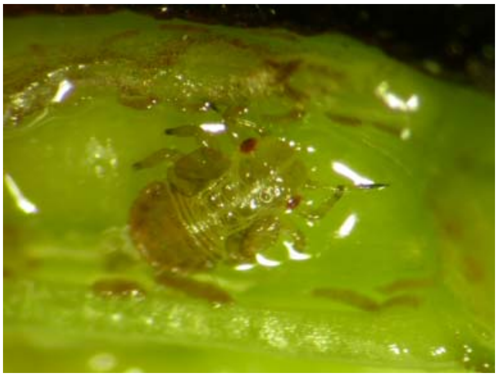


圖 3. 中國梨木蝨若蟲隱匿在自己分泌的蜜露中。
Fig. 3. *Cacopsylla chinensis* nymph hiding in honeydew.

圖 4. 中國梨木蝨分泌蜜露，引發煤煙病。
Fig. 4. Black sooty mold on honeydew excreted by *Cacopsylla chinensis*.

圖 5. 梨衰弱病捲葉、紅葉病徵。
Fig. 5. Symptoms of leaf curling and abnormal leaf color on pear caused by phytoplasma (PDTW strain).

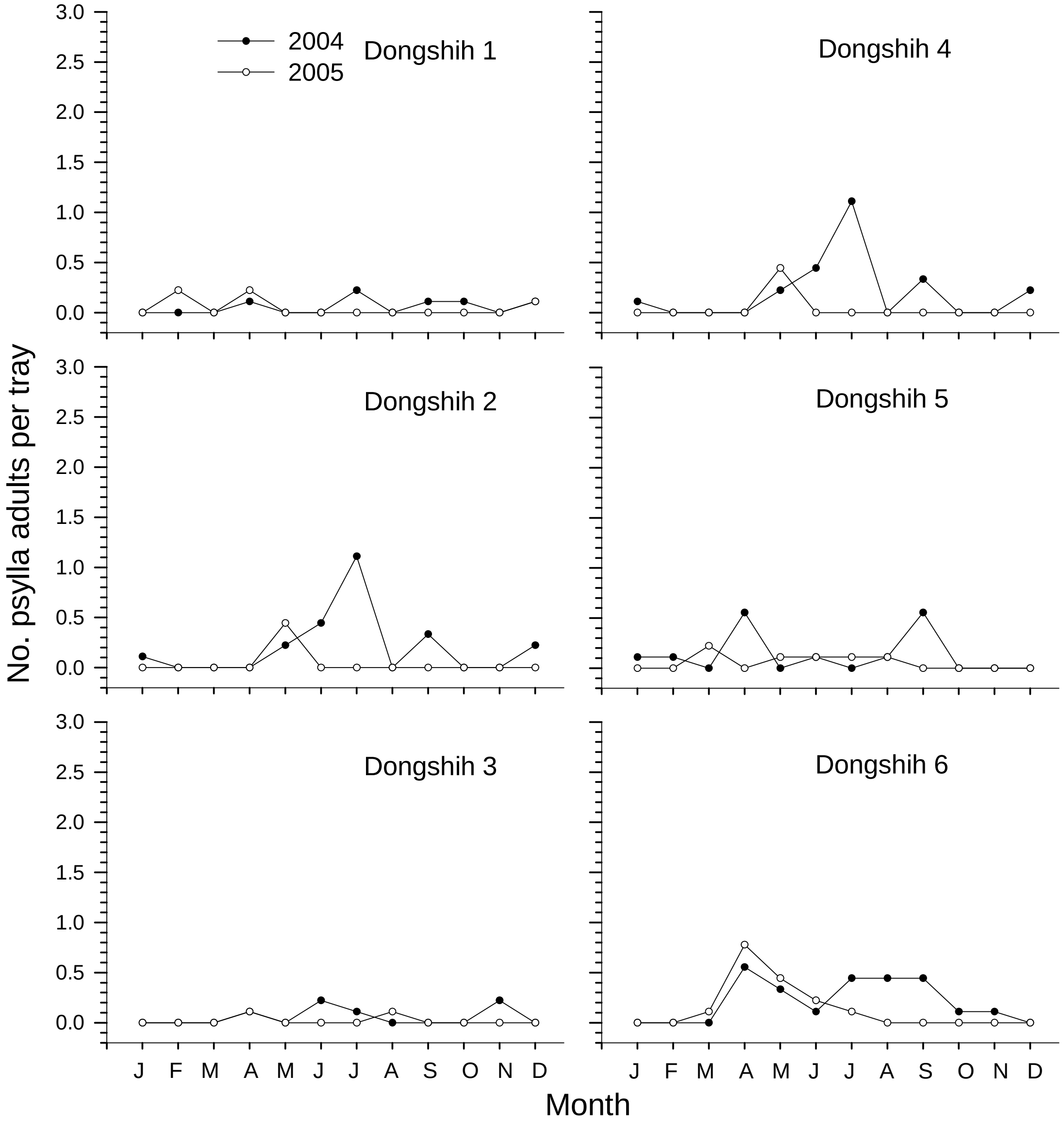


圖 6. 以枝條敲擊法監測台中東勢地區 6 個梨園之中國梨木蝨成蟲族群動態。

Fig. 6. Population dynamics of *Cacopsylla chinensis* adults monitored by tray-beating method in six pear orchards at Dongshih, Taichung.

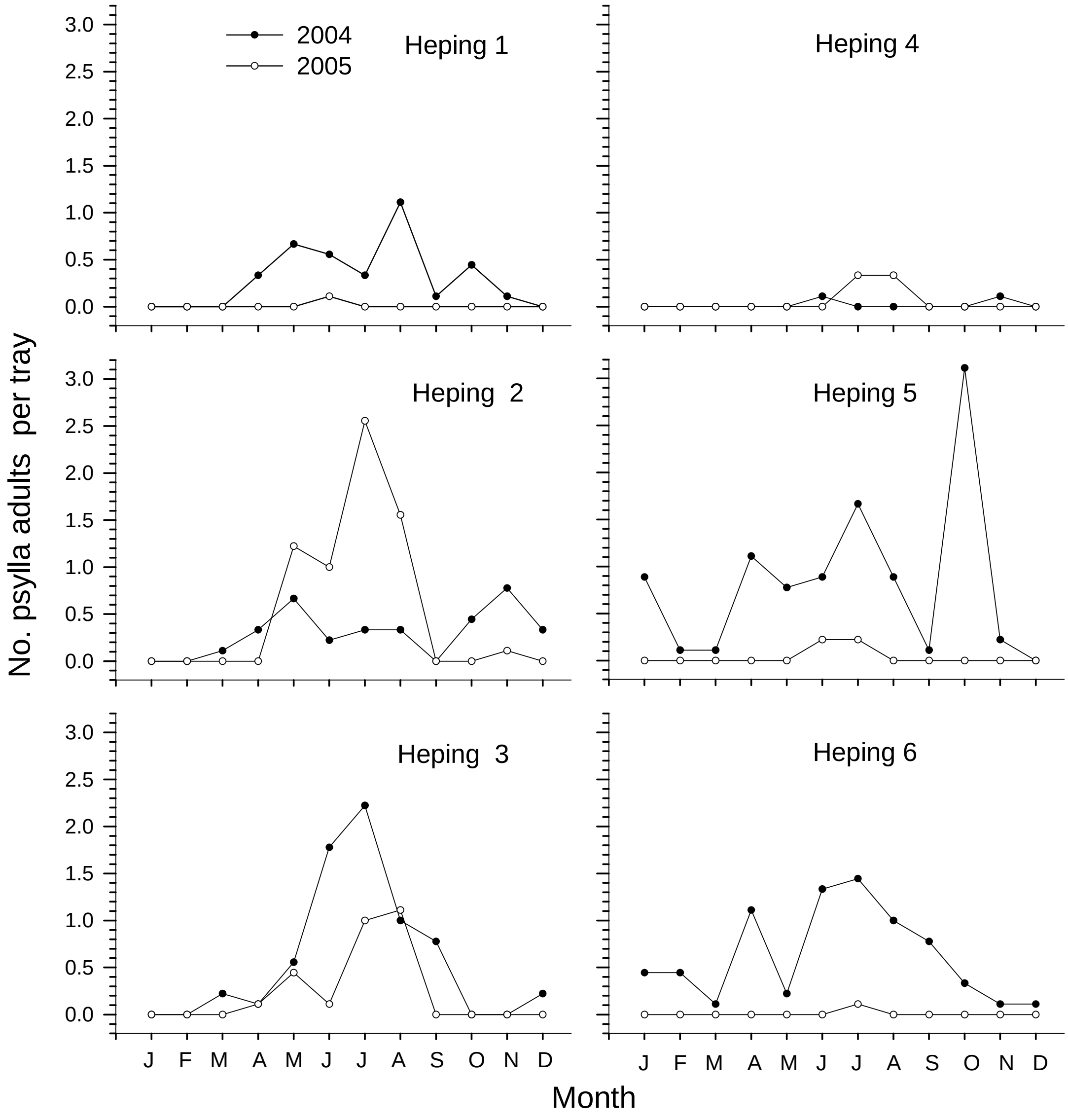


圖 7. 以枝條敲擊法監測和平地區 6 個梨園之中國梨木蝨成蟲族群動態。

Fig. 7. Population dynamics of *Cacopsylla chinensis* adults monitored by tray-beating method in six pear orchards at Heping, Taichung.

植物病原原核生物其媒介昆蟲整合管理之研究進展

石憲宗[1,7] 李啓陽[1] 溫育德[2] 蘇秋竹[3] 張淑貞[1] 張宗仁[4,5] 段淑人[6] 馮鈞育[3]

[1] 行政院農業委員會農業試驗所應用動物組
[2] 國立彰化師範大學生物學系
[3] 行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所應用化學組
[4] 國立中興大學植物病理學系
[5] 美國喬治亞大學植物病理系
[6] 國立中興大學昆蟲學系
[7] 通訊作者 e-mail: htshih@tari.gov.tw

摘 要

植物病原原核生物的媒介昆蟲，主要來自葉蟬科、沫蟬總科、飛蝨總科與木蝨總科，此類媒介昆蟲的管理方式，至今仍著重在化學防治，但媒介昆蟲傳播植物病害的速度很快，即便施用化學藥劑也無法阻止病害的發生。爲了有效降低媒介昆蟲族群密度及病害傳播，發展蟲媒病害與媒介昆蟲的整合管理技術有其必要，爲此本文回顧與討論媒介昆蟲的整合管理，包括化學防治 (如輪用不同殺蟲作用機制的殺蟲劑)、生物防治 (如生物天敵與微生物防治)、物理防治 (如油劑、高嶺土、昆蟲阻隔網、可吸收紫外光塑膠布與黃色黏蟲紙等) 與耕作防治措施等。

關鍵詞：植物病原原核生物、媒介昆蟲、整合管理技術、高嶺土、微生物防治

前 言

能夠感染植物，並使植物生病的原核生物，稱爲植物病原原核生物 (plant pathogenic prokaryote)，其中可藉由昆蟲傳播者，則稱之爲蟲媒植物病原原核生物，包括：(1) 棲息於寄主維管束木質部組織的侷限導管細菌 (xylem-limited bacteria, 簡稱 XLB)，如 *Xyllela fastidiosa* (Wells *et al.*, 1987; Purcell & Hopkins, 1996) 與 *Ralstonia syzygii* (*Pseudomonas syzygii* 爲其同物異名 (synonym)) (Balfas *et al.*, 1991; Denny, 2006)；(2) 棲息於寄主維管束韌皮部組織的侷限篩管原核生物 (phloem-limited plant pathogenic prokaryotes)，如螺旋菌質體 (spiroplasma) (Whitcomb, 1981; Markham, 1983)、植物菌質體 (phytoplasma) (Weintraub & Beanland, 2006) 與黃龍病菌 (*Cadidatus* Liberibacter spp.) (Hung *et al.*, 2004; Gottwald, 2010)。由於這些蟲媒植物病原原核生物至今仍無法使用一般培養基予以培養 (in vitro)、甚至也無法以特殊培養基予以培養，因此也稱之爲「難以培養的植物病原原核生物 (phytopathogenic fastidious prokaryotes)」。

上述這類蟲媒原核生物所引起的植物病害，至今仍無有效的化學藥劑可資防治，因此其防治重點首重媒介昆蟲的防治，其他尚有剷除罹病株與栽培健康種苗。

在媒介昆蟲的防治部份，基本上仍以化學防治爲主軸，其他如抗蟲育種、設施栽培、運用捕食性或寄生性昆蟲天敵防治等方法，仍有諸多問題。事實上，擬定蟲媒病害整合防治策略的過程，需考量病原、媒介昆蟲、寄主範圍與環境等因子之間的相互關係，然後採用多管齊下的方式防治此類病蟲害，以降低經濟損失。

有鑑於此，本文回顧全球此類病原媒介昆蟲之重要研究報告，從媒介昆蟲的生物學特性 (取食習性、寄主範圍、特殊行爲、飛行能力、營養條件)、地理分布、氣候因素、寄主植物栽培管理措施等層面，從中探討已被運用或未來可運用在媒介昆蟲防治管理的相關研究進展，以建立可適用於台灣的植物病原原核生物其媒介昆蟲的防治策略。除此，本文也將高嶺土 (kaolin) 與微生物防治等資材運用於葉蟬防治的潛力，予以精要說明，以作爲擬定蟲媒病害媒介昆蟲防治政策或研究方向的參考依據。

蟲媒植物病原原核生物感染植物的途徑

由昆蟲所傳播之植物病原原核生物，除了可透過媒介昆蟲將其傳播至健康植株之外，其感染植物的途徑尚包括：(1) 使用已被侷限導管細菌、植物菌質體以及黃龍病菌感染的植物組織，作爲嫁接或無性繁殖的材料；(2) 菟絲子 (dodder, *Cuscuta* spp.) 可將植物菌質體自感染植株傳至健康植株；(3) 由於植物種子未具韌皮部篩管細胞，因此學者認爲植物菌質體透過種子傳播的機會微乎其微，但 Cordoval *et al.* (2003) 從 4 株已感染椰子致死性黃化病菌質體 (Lethal yellowing phytoplasmas) 的椰子樹上，採集 72 個果胚進行分子偵測，其中 13 個果胚被檢出具有病原分子序列，此結果顯示菌質體有可能透過種子傳播。

媒介昆蟲取食習性與傳播病原特性

昆蟲綱各目當中，具有傳播植物原核生物性病害潛力者，僅有植食性 (phytophagous) 的半翅目昆蟲 (hemipteran insects)，其中已被證實可傳播此類病原的媒介昆蟲 (vectors)，依其所屬分類地位，可歸納爲蟬亞目 (Cicadomorpha) (如葉蟬科 (Cicadellidae)、尖胸沫蟬科 (Aphrophoridae)、鉤沫蟬科 (Clastopteridae) 與巢沫蟬科 (Machaerotidae))、蠟蟬亞目 (Fulgoromorpha) (如菱飛蝨科 (Cixiidae)、稻蝨科 (Delphacidae)、長翅飛蝨科 (Derbidae) 及羽衣飛蝨科 (Flatidae))、胸喙亞目 (Sternorrhyncha) (如木蝨科 (Psyllidae)) 與異翅亞目 (Heteroptera) (如椿象科 (Pentatomidae) 與軍配蟲科 (Tingidae)) (Severin, 1950; Purcell, 1982; Markham, 1983; Purcell & Hopkins, 1996; Redak *et al.*, 2004; Almeida *et al.*, 2005; Weintraub & Beanland, 2006; Weintraub, 2007; Janse & Obradovic, 2010; Gottwald, 2010)。上述這些媒介昆蟲及其傳播病原之相關資料，可參閱本專刊第 9-23 頁「國際重要作物原核生物性病害及其媒介昆蟲之研究回顧」之報告內容。

半翅目植食性昆蟲的取食習性，與獲取植物汁液的來源部位有關，據此可歸納吸食木質部水分、韌皮部養分與葉肉細胞養分等類型，並分別被稱之爲木質部取食者 (xylem feeders)、韌皮部取食者 (phloem feeders) 與葉肉細胞取食者 (mesophyll feeders)。已知的木質部取食者，包括蟬科 (Cicadidae)、葉蟬科的大葉

蟬亞科 (Cicadellinae) 與沫蟬總科的成員；葉蟬科絕多數成員 (大葉蟬亞科與小葉蟬亞科 (Typhlocybinae) 除外)、胸喙亞目昆蟲、飛蝨亞目昆蟲 (除某些小頭飛蝨科 (Achilidae)、菱飛蝨科 (Cixiidae) 與長翅飛蝨科 (Derbidae) 的若蟲取食眞菌菌絲汁液以外) (Wilson *et al.*, 1994) 與絕多數的植食性異翅目昆蟲，則爲韌皮部取食者；葉蟬科的小葉蟬亞科則爲葉肉細胞取食者。

由上可推測，大葉蟬亞科與沫蟬總科的成員，應具有傳播侷限導管細菌病原的潛力，而存在於韌皮部的侷限篩管原核生物，則需藉由韌皮部取食習性的昆蟲來傳播。作者於此列出兩點非常有趣的資料，作爲吾人研究媒介昆蟲傳病特性時，可以思考的問題：(1) 半翅目植食性昆蟲這個唯一具有傳播植物病原原核生物性病害的分類群，在科 (Family) 或亞科 (Subfamily) 的分類層級，是否眞的具有一致的取食習性？例如，爲何分屬於木質部與葉肉細胞取食習性的大葉蟬與小葉蟬，會成爲植物菌質體的媒介昆蟲 (Weintraub & Beanland, 2006)；(2) 以大葉蟬亞科爲例，全球約有 330 屬 2400 種 (Wilson & Turner, 2007)，其中美洲的物種佔 50% 以上，爲何僅有 39 種 (Redak *et al.*, 2004) 大葉蟬被證實爲 *X. fastidiosa* 的媒介昆蟲。

除此，上述兩種不同取食習性的媒介昆蟲，也具有不同的傳病特性。以傳播侷限導管細菌病原的媒介昆蟲爲例，病原僅在蟲體前腸部位附著與繁殖，並未進入體內增殖，因此獲得病原的若蟲經過脫皮之後，體內就不會帶有病原，但成蟲期一旦獲得病原，則病原將長駐於其前腸直至成蟲死亡 (Purcell, 1982)；對於可傳播侷限篩管原核生物 (植物質體體、螺旋菌體與黃龍病菌等) 之媒介昆蟲而言，若蟲或成蟲獲得病原菌之後，病原即在蟲體內增殖，且亦有經卵傳播的特性 (Purcell, 1982; Weintraub & Beanland, 2006)。

媒介昆蟲整合管理技術的重要性與先決條件

蟲媒病害 (含蟲媒的植物病毒) 的防治，屬於全球農業最具挑戰性的課題之一，因爲蟲媒病害對農作物的最終影響，直接反應在糧食安全 (產量問題) 與食用安全 (農藥殘留問題) 兩大課題。因此，有效的蟲媒病害及其媒介昆蟲之整合管理技術，其前題必需是對產區與社會的經濟效益皆有助益，所以必需考量作物生育特性、肥培管理與氣候條件，在適當的時機 (針對病蟲害的生物學特性與發生時間、氣候條件) 運用適用的防治方法，達到有效的經濟效益，如此才能建立一個適地與適用、且受農友認同與接受的整合管理技術。

由於蟲媒病害的流行趨勢與媒介昆蟲有關，在擬定有效的整合管理技術之前，有必要邀集植物病理、昆蟲、分子鑑定技術、作物栽培育種與農業化學等不同領域的專家，籌組跨領域的研究團隊，就往昔同類蟲媒病害的生態與防治資料，從中參考是否有適用於目前罹病樣區病蟲害調查與防治工作的根據。其中，調查與鑑定病原及潛在媒介昆蟲的種類，則爲研究蟲媒病原及媒介昆蟲防治工作的首要任務，如此才能確認眞正的防治對象。其次，針對病原及其潛在媒介昆蟲 (potential vectors)建立長期監測資料，如此才能掌握正確與適時的防治時機。除此，剷除罹病園區的罹病株，是直接降低田間病原密度的重要工作，另透過室內

傳病驗證 (柯霍氏法則)，確認那些潛在媒介昆蟲爲眞正的媒介昆蟲，其後就需展開病原與媒介昆蟲族群密度的監測，並調查可能影響其密度之生物 (如病原與媒介昆蟲的寄主植物) 與非生物因子 (如溫度與雨量等氣候因子、土壤酸鹼値等) 因子，以作爲各因子影響蟲媒病害與媒介昆蟲發生的評估依據。

媒介昆蟲整合管理技術

眾所周知，蟲媒植物病原原核生物性病害的防治，首重媒介昆蟲的防治。但何時才是正確的媒介昆蟲防治時機，何者才是適用的防治方法 (或資材)，是一門複雜的課題，因爲同樣的病害在不同的地區，也有不同程度的發生生態，此也反應在媒介昆蟲之上，這也是爲何媒介昆蟲的整合管理技術必需考量其適地、適時與適用性。

本文所提供的整合管理技術資料，包括往昔研究資料回顧與農業試驗所新近開發的資材，期望可以提供各試驗改良場所及大學相關系所發展防治資材或防治策略的參考，也藉此讓國內管理防治資材的單位，瞭解國內外對資材管理規範的差異，對於具有應用潛力的安全防蟲資材或植物保護資材的規範，可從法規適用性與農友需求面予以周延考量，如此才能使產官學界有共同的奮鬥目標，使研究成果可在農業眞正應用。

(一) 法規防治與教育宣導

根據「中華民國輸入植物或植物產品檢疫規定」 (2011 年 3 月 31 日修正版) (http://www.baphiq.gov.tw/public/Data/141214355471.pdf) 的內容，屬於「甲、禁止輸入之植物或植物產品」 所列之蟲媒植物病原原核生物計有 5 種，分別爲非洲型柑桔黃龍病 (*Candidatus* Liberibacter africanus Garnier *et al.*)、柑桔矮化病 (*Spiroplasma citri*)、甘蔗叢蘗病菌質體 (Sugarcane grassy shoot phytoplasma)、椰子致死性黃化病菌質體 (Lethal yellowing phytoplasma)、*Xylella fastidiosa*。

上述這類蟲媒病原自原產地進入一個新的地區，其病原菌能否在新地區成功存活 (立足)，需視病原、寄主植物、媒介昆蟲與環境 (溫度、濕度、雨量) 等條件是否互相支持而定。例如，在相連的陸塊 (如美洲大陸) 之上，病原或媒介昆蟲很容易隨著主動 (如媒介昆蟲的遷飛) 或被動擴散 (如罹病植株藉由交通運輸工具移動或隨媒介昆蟲移動)，從其原產地擴散到新的棲地，進而藉由遷入的媒介昆蟲或當地的本土媒介昆蟲，將病原菌傳播至健康的寄主植物。以原產於美洲大陸的 *X. fastidiosa* 爲例，其不同菌系或亞種可造成葡萄皮爾斯病 (Pierce’s disease of grape, PD)、柑桔斑點黃萎病 (citrus variegated chlorosis, CVC)、梨葉緣焦枯病 (pear leaf scorch, PLS) 等。作者歸納與分析此類病害媒介昆蟲之往昔研究資料，顯示不同菌系或亞種的 *X. fastidiosa* 在各原產地之媒介昆蟲種類，很少具有共通的種類，但至少都屬於葉蟬科的大葉蟬亞科昆蟲 (Redak *et al.*, 2004；Su & Shih, unpublished data)，此意味著 *X. fastidiosa* 在各地區 (如美國的 PD、巴西的 CVC、台灣的 PLS) 所引發之病害，其病原可隨著寄主枝條，透過船舶與飛機等交通運輸工具，跨越海洋與高山，抵達往昔從未發生過該病的新地區，一旦罹病

枝條透過無性繁殖 (如扦插或接穗) 之後，該病原很有機會在新地區隨寄主植物的存活，再透過當地的大葉蟬或沫蟬等木質部取食習性的媒介昆蟲，進行病原的傳播。再者，以植物菌質體爲例，同群的植物菌質體通常有數種以上的媒介昆蟲，如 Maize bushy stunt phytoplasmas (16SrI-B) 可由 *Dalbulus elimatus* (Ball), *D. maidis* (DeLong and Wolcott) 與 *Graminella nigrifrons* (Forbes) 等三種媒介葉蟬傳播 (Kunkel, 1946; Niederhauser & Cervantes, 1950; Nault, 1980)；另有研究報告指出 *M. striifrons* Anufriev [*M. orientalis* 則爲其同物異名] 與 *Euscelis incisus* (Kirschbaum)) 等葉蟬，已被證實可傳播兩種以上的植物菌質體 (Posnette & Ellenberger, 1963; Shiomi & Sugiura, 1984; Alma *et al.*, 2001; Palermo *et al.*, 2001)。

由上可知，各國在建立這類檢疫有害生物 (含病原及其媒介昆蟲) 清單之前，均會從事有害生物風險分析 (PRA) 報告，以作爲擬定植物檢疫相關法規及施行檢疫措施的依據，以達到避病 (escape) 的目的，一旦在其國內發現外來的蟲媒植物檢疫病害時，隨即依據法規予以進行緊急防治。

每個國家雖依其植物檢疫法規對進口農產品實施相關檢查，但仍有可能發生外來有害生物進境的機會。各國如果無法杜絕私自引入國外種苗或無性繁殖體的走私行爲，則病原勢必在國家間或洲際間擴散。爲了營造安全的農業生態環境，國人需遵守我國的輸入植物或植物產品檢疫規定，降低外來蟲媒原核生物性病害進境爲害的機會，並避免走私導致國家每年必需投入巨資防治外來有害生物的問題。

(二) 化學防治

雖然有學者質疑殺蟲劑防治害蟲的速度，遠趕不上媒介昆蟲傳播病原的速度 (Weintraub *et al.*, 2008)。不過，在許多蟲媒病害之媒介昆蟲種類尚未確認之前，殺蟲劑絕對是緊急防治的唯一武器，即便媒介昆蟲已經確認，殺蟲劑仍被視爲媒介昆蟲整合管理的其中一個必要方法。在正確時機 (掌握媒介昆蟲之田間族群動態)、正確地點 (掌握媒介昆蟲的田間寄主植物)，針對害蟲的生活習性與傳病特性 (如病原是否於蟲體內繁殖)，予以使用不同殺蟲作用機制的殺蟲劑，將可有效壓制媒介昆蟲的族群密度；Baldessari *et al.* (2010) 的研究顯示不同殺蟲作用機制的殺蟲劑，對蘋果叢生菌質體 (apple proliferation phytoplasma) 其媒介昆蟲的若蟲期與成蟲期，具有不同程度的影響。同時，輪用不同殺蟲作用機制的殺蟲劑，對於防治世代短、繁殖潛能強與隱匿性高的各類植物病原媒介昆蟲 (如葉蟬、沫蟬、蚜蟲、粉蝨、木蝨與飛蝨等)，更可達到緩和抗藥性產生的效果。

本文第一與第三作者 (石及蘇) 於 2009-2010 年，在台中市新社區從事葡萄皮爾斯病 (PD) 媒介昆蟲的全年密度監測 (以黃色黏蟲紙每兩週調查一次) 爲例，顯示白邊大葉蟬 (*Kolla paulula*) 的發生高峰爲每年的 2 月初至 4 月初、7 月初至 8 月底、10 月中旬至 12 月中旬，每次高峰維持約 2 個月，再根據實驗室 (室溫) 全年大量飼育白邊大葉蟬的資料，顯示卵期至羽化爲成蟲的發育時間範圍約爲 1.5-2 個月。據此，建議農友在 2010 年 1 月、5-6 月及 9-10 月的時段，於發生 PD 園區外圍的雜草叢輪流施用有機磷劑、除蟲菊類、類尼古丁系與幾丁質合成抑制物 (如布芬淨) 等 4 種不同殺蟲作用機制的殺蟲劑，每類藥劑施

用 3 次，施用時段若遇天候因素等不可抗拒之因素，可調整施用時間。結果顯示，2010 年相較於 2009 年同期白邊大葉蟬的族群密度，平均下降達 1.6-2 倍。由此可知，只要在適時 (防治時機) 與適地 (防治地點) 施用化學藥劑，的確可以抑制媒介葉蟬族群密度。

(三) **物理防治**

對於多年生果樹與收穫期較一致的作物，正確運用殺蟲劑可壓低媒介昆蟲發生密度，達到緩和病原的擴散速度；但對於短期連續採收的作物而言，一旦遭遇蟲媒病害感染，此時施用化學防治時機已晚，且具農藥殘留過量的疑慮。因此，一套完整的有害生物整合管理策略，也包括在適當時機，採用具有控制有害生物能力且安全性也高的非化學防治方法 (如物理防治、生物防治與耕作防治等)。事實上，掌握媒介昆蟲的取食習性、飛行與產卵習性等行爲，據此開發蟲媒原核生物媒介昆蟲的物理防治資材，將可達到事半功倍之效。

在所有的物理防治資材之中，最典型的代表就是利用顏色誘集昆蟲所設計的黏蟲紙或誘蟲燈，例如黃色黏蟲紙對葉蟬、沫蟬、木蝨與飛蝨等媒介昆蟲極具誘集效果，已是全球各國監測此類媒介昆蟲的標準資材。

本文於此僅簡介數種在國外已經商品化的物理資材，在國內未來也極具應用潛力的物理防治資材，以作爲我國農業產官學界判斷國內是否適合發展與應用之參考依據。

1. 高嶺土

爲了阻隔農業有害生物 (昆蟲、有害動物及病原微生物等) 接觸、刺吸與貫穿植物組織，危害植物的健康，人類以礦物性資材 (如高嶺土、窄域油) 或植物性資材 (如大豆油、葵花油) 施用在植物表面，以降低有害生物直接危害植物。此作用形同為植物穿上防護衣，達到保護植物的目的。

在 1990 年，美國農部所屬之 Appalachian 果樹研究站的 Micharl Glenn 博士，開始從事礦物性微細顆粒覆蓋於植物控制果樹病蟲害的研究，發現高嶺土是最適合的礦物性資材，並與美國最大的高嶺土產品製造商 Engelhard 公司合作，發展對環境有利且可控制害蟲的高嶺土產品，隨後在美國、義大利、智利等不同緯度與氣候條件的地區與國家進行測試，並於 1999 年正式推出商品 Surround Crop Protecant，同年 Glenn *et al.* (1999) 也將此專利商品的重要試驗成果予以發表，2000 年進一步推出可濕性粉劑 (WP) 的劑型。

Surround 的成份當中 95% 爲高嶺土與 5% 佐劑，爲安全與低毒性產品，其作用主要是將高嶺土噴覆在植物組織表面，使之成爲保護膜，因此稱之爲植物保護劑。美國有機材料評審協會 (OMRI) 在 2000 年初將 Surround 產品列入有機資材的使用名單。以梨樹害蟲爲例，Vincent *et al.* (2003) 指出 Surround 運用在美國梨樹害蟲管理的使用量，已取代 30% 的殺蟲劑施用量。

2008 年底，第一作者研究葉蟬取食與羽化行爲過程，發現葉蟬各齡期若蟲脫皮之後、或第五齡若蟲羽化爲成蟲之後，在一至數小時之內，肛門會排出含有奈米或微米顆粒的微小體 (brochosome) 水滴，此時葉蟬會以後足將此些水滴塗抹全身，此行爲目前已被公認爲葉蟬科的獨有生物行爲，也引發第一作

者擬運用外來微細顆粒噴覆 (如高嶺土、矽藻土、熟石灰等) 在葉蟬體表，以作爲干擾葉蟬取食的目的。經過評估，同時考量顆粒大小及含矽結晶 (silica crystalline) 成份之後，我們選用對人體安全性高的高嶺土作爲研究材料。

有鑑於此，農業試驗所應用動物組嘗試自行開發可適用於多雨高溫氣候的高嶺土劑型，目前已完成高嶺土水懸劑 (代號 TK99) 的開發與系列測試，並簡述其中兩點結果：(1) 針對葡萄皮爾斯病媒介葉蟬 - 白邊大葉蟬，進行室內 (26±1℃) 阻隔取食與產卵的試驗，結果顯示白邊大葉蟬成蟲無法在覆以高嶺土的植物上取食與產卵，而覆蓋不均勻的測試組及完全不覆蓋的對照組，成蟲可在未覆蓋之處正常取食或產卵；(2) 在農試所桃樹試驗田以 TK99 從事對桃葉蟬 (*Singapora shinshana* (Matsumura)) 阻隔取食之試驗，結果顯示在桃樹的葉片生長期，每週施用一次高嶺土的處理葉片，確實可大量降低桃葉蟬的取食機會，其效果與化學防治效果相似，未施用高嶺土或化學藥劑的對照組，其桃葉蟬發生密度大致爲處理組的 8.2-9.5 倍。

以上顯示 TK99 是可達到保護作物不受葉蟬吸食，目前經過施用 TK99 觀測是否可均勻覆蓋的作物，已達 10 種以上。台灣的栽培環境高溫多濕、作物種類多，TK99 可適用於那些作物？對於葉片適用的作物，對其花器授粉作用，是否也可適用？對於各生育期皆可適用的作物，則其施用頻度爲何？這些都還有一段長遠的路要努力。

作者開發 TK99 的前題，主要是提供農友有實用的植物保護非化學資材可資使用， TK99 完全沒有殺蟲的能力，只是覆蓋在植物表面的植物保護劑，與 Surround 的功能一樣。未來盼望透過各方共同合作，針對重要經濟果蔬作物進行合作測試，推進田間測試時間，並確認在台灣是否能被列爲不列管農藥或是植物保護劑，這些仍有賴各方努力。

2. 吸收紫外光之塑膠布

對於溫室的花卉蔬菜作物，其內環境爲小型昆蟲適合繁殖的環境，一旦這類昆蟲同時成爲蟲媒病害的媒介昆蟲，此時蟲媒病害及媒介昆蟲必然成爲產業的限制因子。由於在此類設施使用殺蟲劑降低媒介昆蟲數量，仍無法降低病害發生。爲此，國外將可吸收紫外光的塑膠布作爲溫室或網罩式的覆蓋材料，以抑制粉蝨與薊馬等小型害蟲的族群數量 (Costa *et al.*, 2002)。Weintraub *et al.* (2008) 研究可傳播藍雪科 *Limonium* 屬植物菌質體媒介葉蟬的物理防治法，發現如果將此些植物種植在可吸收紫外光塑膠布的隧道環境內，對 *Orosius orientalis* 這種媒介葉蟬進入隧道具有抑制效果，由於此種葉蟬的活動偏好高度爲 0.5-1 m，依此設計遮光隧道的高度，並在隧道兩側出口覆蓋具有通風作用的網布 (25-30 孔目)，則阻隔進入隧道的效果更佳。

如果業者施用此方法所獲淨利，高於完全依賴化學防治法所獲淨利，則此法對於隧道栽培的花卉蔬菜顯然是一個安全性高的物理防治法，不過應用此法尚需考量業者操作上的方便性，且對於隧道內不同植物之生長高度及栽培密度也需事先考量。

3. 網罩

木瓜輪點病毒 (*Papaya ringspot virus*, PRSV) 是由蚜蟲所傳播，造成台灣木瓜產業的重大經濟損失。農林廳在 1985 年開始推行網室木瓜栽培，阻隔蚜蟲傳播 PRSV，防治成果極爲顯著，至 1998 年網室木瓜栽培面積已佔全國木瓜栽培面積之半 (黃及張, 1998)，至今網室栽培木瓜已成爲台灣木瓜產業的特色；再者，台灣的木瓜在近年來另遭遇由葉蟬傳播的木瓜 Stolbur phytoplasmas 菌質體危害 (Bau *et al.*, 2007)，由此可知台灣仍需以網室栽培木瓜預防上述兩種蟲媒的木瓜病害。

除此，Walsh *et al.* (2006) 研究網室栽培木瓜阻隔媒介昆蟲傳播 Australian dieback disease 之控制效果，結果顯示網室確實可有效降低病害發生，但此法僅在集約栽培木瓜的地區具有高經濟效益，對澳洲較具粗放的木瓜栽培方式及市場價值則不適用。

由上可知，網室栽培絕對有助於阻絕媒介昆蟲傳播蟲媒植物病害，對於台灣這類耕作面積小、經濟產值高的栽培方式，有其正面利益；但對於農業面積廣大且單一作物大面積栽培的國家或地區，運用此法不但硬體成本大幅增加，也需克服劇烈氣候 (豪雨、颱風、龍捲風、冰雹等) 發生前後，即需完成掀網與再覆網的動作，且掀網與再覆蓋的過程，作物仍受氣候影響，這段時間也會吸引葉蟎、夜蛾、刺吸式昆蟲與蝸牛等有害動物入侵，對生產成本都是不穩定的因素，因此很難在此類國家或地區予以運用。

(四) 生物防治

往昔研究顯示葉蟬的天敵昆蟲，以膜翅目的纓小蜂科 (Mymaridae) 與雙翅目的頭蠅科 (Pipunculidae) 爲主，其他尚有撚翅目的昆蟲。其中，纓小蜂科昆蟲爲葉蟬卵期的天敵，而頭蠅科與撚翅目昆蟲則爲若蟲期與成蟲期的天敵。

事實上，葉蟬雌蟲之產卵習性與卵被寄生比例呈密切相關，對於可將卵完全產在植物組織內部的葉蟬種類 (例如絕多數的葉蟬科種類) 而言，卵被寄生的比例極少；對於僅將部分卵埋在植物組織者 (如檬果綠葉蟬與檬果褐葉蟬等)，卵被寄生的比例相對提高；但對於可將卵產在植物組織表面的卵 (例如部分大葉蟬亞科昆蟲)，被卵寄生蜂寄生的機會相對加大。

以褐透翅尖頭葉蟬 (GWSS) 爲例，雌蟲將卵產於植物表面，並在卵的表面覆以具有殺菌作用的微小體 (brochosome) 保護卵 (Hix, 2001; Triapitsyn *et al.*, 1998; Rakitov, 2004)，但相對於那些將卵產於植物組織內部的葉蟬而言，曝露在植物組織表面的卵，易被捕食性與寄生性昆蟲天敵發現，Triapitsyn *et al.* (1998) 發現 GWSS 的卵被 *Gonatocerus ashmeadi* 與 *G. fasciatus* 這兩種纓小蜂科寄生的比率高達 50%，這當中兩種的寄生比率分別爲 69% 與 31%。此數據顯示這兩種寄生蜂具有田間應用的價值。

在台灣，第一作者長年調查葉蟬的天敵，發現跳蛛科 (Salticidae) 種類是出現頻度最高的捕食性天敵，可捕食若蟲與成蟲；其次爲頭蠅科昆蟲。由於跳蛛爲廣食性與逢機捕食食餌，其食餌包括體型與其相當或較小的昆蟲及蜘蛛，因此不具室內大量繁殖的價值，而頭蠅科的寄主雖以葉蟬爲主 (少數爲稻蝨科) (Skevington & Marshall, 1997)，但在台灣各地採集發現的寄生比例僅爲 2-3% 左

右，對於開發爲有效天敵也有一段時間，此爲台灣目前發展寄生捕食天敵有困難之處。

除昆蟲天敵之外，近年來學者已嘗試利用微生物防治葉蟬。Paratransgenesis 是近代發展的微生物防治方法，是將昆蟲體內的共生菌種類，利用人爲的方式加以改變，達到防治的目的，這種利用共生菌防治疾病的策略，稱之爲共生菌防治 (symbiotic control) 或共生菌治療 (symbiotic therapy) (Aksoy *et al.*, 2008; Favia *et al.*, 2008)。發展共生菌防治之前，首先需要鑑定病媒昆蟲體內的共生菌種類，藉由培養、修改其共生菌，達到減少病媒昆蟲子代存活數目，降低病媒昆蟲繁殖優勢的目標 (Kuzina *et al.*, 2001; Weiss *et al.*, 2006)。此外，共生菌亦可佔據病原在寄主體內的棲地，可防止病原在病媒昆蟲體內增生 (Gai *et al.*, 2009)。

Bextine *et al.* (2005) 自 GWSS 體內分離、鑑定與培養出一種共生菌 *Alcaligenes xylosoxidans* subsp. *denitrificans*，透過基因轉殖技術將綠螢光蛋白嵌入 *A. xylosoxidans* 的染色體上，再將基因重組後的 *A. xylosoxidans* 接種至植物體內，*A. xylosoxidans* 隨著 GWSS 吸食進入其體內，此結果顯示可以利用 *A. xylosoxidans* 與病原競爭寄主體內的空間與資源，進而減少 GWSS 的傳病能力。另外，Bigliardi *et al.* (2006) 在葡萄帶葉蟬 (*Scaphoideus titanus*) 體內的脂肪體與唾液腺中發現 *Cardinium hertigii* 這種共生菌。由於葡萄帶葉蟬爲葡萄黃化病菌質體 (Flavescence dorée, FD) 病害的媒介昆蟲，而 *C. hertigii* 與 FD 存在於相同器官內，因此 *C. hertigii* 被認爲具有防治葡萄帶葉蟬傳播 FD 的潛力 (Marzorati *et al.*, 2006)。

最具有潛力的共生細菌，是一種由母體傳染的革蘭陰性內共生細菌 *Wolbachia pipientis* (Werren, 1997)。*Wolbachia* 的寄主範圍包括昆蟲、蜘蛛、甲殼類動物與絲蟲等，其傳染方式主要是經由雌性生殖腺傳遞給後代 (Werren & Windsor, 2000）。目前已知 *Wolbachia* 造成生殖異常包括：胞質不相容性 (cytoplasmic incompatibility)、孤雌生殖 (parthenogenesis)、殺雄作用 (male-killing) 與子代雌性化等 (Werren & Windsor, 2000)。Chang and Musgrave (1972) 首次報導葉蟬 *Helochara communis* Fitch 體內有內共生菌的存在。後續的研究著重在利用 PCR 以及組織切片觀察等方式，鑑定葉蟬體內的 *Wolbachia* 品系以及探討 *Wolbachia* 對葉蟬生殖的影響。Mitsuhashi *et al.* (2002) 比對 *Wolbachia* 基因序列 (16S rDNA, *ftsZ, wsp*)，發現發現兩種桑葉蟬 *Hishimonoides sellatiformis* 與 *Hishimonus sellatus* 的體內含有相同品系的 *Wolbachia*，作者推測當葉蟬取食植物韌皮部汁液時，唾液腺內的 *Wolbachia* 可能會先轉移到植物內，當其他種葉蟬取食相同植物時，*Wolbachia* 再轉移到這些取食者體內。Takiya *et al.* (2006) 分析 27 種葉蟬，發現有 9 種葉蟬體內含有 *Wolbachia*，並指出這些 *Wolbachia* strains 與宿主葉蟬並無親源性關聯。Negri *et al.* (2009) 指出 *Wolbachia* 可能會造成 *Zyginidia pullula* (Boheman) 葉蟬的生殖異常，此種葉蟬是歐洲中部常見的小葉蟬亞科昆蟲，體長僅約 3 mm，年發生四代，寄主植物包括玉米與禾本科雜草。在 1984 年，首次觀察到野外的處女雌蟲與實驗室長期繼代飼養的雄蟲進行交配後，產出均爲雌性的後代，在 1993 年，一些不同地點採集的雌蟲也發現只有產下雌

性後代，之後，利用 PCR 偵測到 *Z. pullula* 體內有 *Wolbachia*，進而推測 *Wolbachia* 可能是造成後代均爲雌性的原因 (Negri *et al.*, 2002)。進一步的研究發現，*Wolbachia* 造成 *Z. pullula* 後代均爲雌性的原因是雌性化而非殺雄作用。此外，作者也證實了雌性化的雄性，仍可與未受感染的雄性交配，並產下活的後代 (Negri *et al.*, 2006)。至於雌性化的機制，作者認爲 *Wolbachia* 可能藉由影響 *Z. pullula* 的性別特異基因的染色體甲基化，而使受感染的雄性後代會發育出雌性特徵 (Negri *et al.*, 2009)。

Wolbachia 在蟲害管理極具應用潛力，這種非基因改造的方式，對環境生態的衝擊較少。藉由施放攜帶人工修飾後 *Wolbachia* 的成蟲，使其與野生型的成蟲交配，再利用 *Wolbachia* 具有的造成宿主生殖異常的能力，使交配後所產的子代死亡，達到降低蟲害的目標。

(五) 耕作防治

可應用在降低媒介昆蟲或蟲媒病原發生密度的措施，包括合理化施肥以降低媒介昆蟲密度、剷除田間媒介昆蟲或蟲媒病原的非作物寄主、剷除罹病株、輪作、栽培抗蟲作物、採用健康種苗與栽培誘引作物等。目前並無報告顯示上述任何一種耕作防治措施，可以杜絕病原或媒介昆蟲的發生，但只要可以明顯降低田間感染源或媒介昆蟲的存在，就是有效的耕作防治措施。

對於本項課題，本文僅簡介農友本身可簡易處理的措施，其餘如抗蟲育種或健康種苗等措施，於本文節略。

1. 避免營造刺吸式昆蟲偏好的高氮營養環境

   往昔研究顯示葉蟬與沫蟬類昆蟲，利用寄主植物的種類，與植物體內含氮多寡、固氮能力 (Thompson, 1999, 2004) 及胺基酸種類 (Brodbeck *et al.*, 1990) 有關，此可解釋取食禾本科植物的葉蟬種類繁多之因。通常農友爲了提高作物產量，常施以過多肥料，此不僅使土壤酸化，相對也營造媒介昆蟲有利的生存環境，因此合理化施肥 (適地、適用與適量的肥料) 絕非口號，其前題是瞭解田間土壤理化性質與作物特性之後，再投入適當的肥料。

2. 剷除病原及其媒介昆蟲之田間非作物寄主，並禁用罹病園區之無性繁殖體

   蟲媒病害之病原及媒介昆蟲，並非完全共享相同的寄主植物。以造成葡萄皮爾斯病的 *X. fastidiosa* 及 GWSS 爲例，兩者之間的寄主植物範圍 (host range) 並非完全重疊，致使田間剷除兩者的非作物寄主工作更形困難。

   在罹病樣區剷除病原及其媒介昆蟲之非作物寄主，並不容易，但其效益卻可直接降低兩者之田間族群密度。因此，我們除了需要落實剷除罹病株的概念，尚需建立擴大剷除罹病園周圍健康園區的非作物寄主，配合禁用罹病園區之植物作爲砧木及接穗，如此方可預防病原藉由媒介昆蟲傳播或無性繁殖的方式擴散至健康園區。

3. 剷除罹病株，確實作好田間衛生工作

   雖然藉由施打抗生素可延緩黃龍病、梨樹葉緣焦枯病及葡萄皮爾斯病的發病趨勢，但也無證據顯示施打抗生素之後，可減緩媒介昆蟲的傳病趨勢，況且抗生素是否會引發病原或媒介昆蟲產生抗性至今也未明確。因此，若能確認罹

病園區的作物已受蟲媒病原感染時，此時唯有立即採取劏除罹病株，方能有效降低病原透過媒介昆蟲擴散。

結論及展望

管理植物原核生物媒介昆蟲之要點，包括正確鑑定物種、掌握田間生態與生物學特性，如此才能確認防治目標，在作物各生育期運用適時、適地與適用的各類防治方法。除此，尚需結合作物病害的防治，方能有效降低經濟損失。另外，國際上對於重要檢疫病害及其媒介昆蟲所採取的規範，主要是採用法規防治，包括禁止輸入帶病植株、並有條件檢測該病害及其媒介昆蟲的寄主植物，並針對此類病害及其媒介昆蟲進行風險評估，此時專家也有必要評估該類檢疫病害是否可透過本土昆蟲執行病原的傳播 (與原產地病媒昆蟲具有同一或相近分類地位的本土昆蟲，應該列爲具有傳播新病害的高危險群昆蟲)，以作爲新病害入侵之後，取得掌握撲滅或有效降低新病害流行危害的先機。除了需考量上述有關病原、罹病植物與病原媒介昆蟲的特性之外，尚需考量栽培管理措施所導致的有害生物組成不一致、媒介昆蟲具移動或飛行能力、媒介昆蟲與病原的寄主植物範圍、氣候因子等因素，如此才能建立有效的蟲媒病害及媒介昆蟲之整合管理體系。

誌 謝

本文係作者等執行農委會「梨樹葉緣焦枯病之病原鑑定及其媒介昆蟲之生態調查與傳病效率研究 (計畫編號：100 農科 - 9.3.1 - 檢 - B1 (8))」、「新興整合-精緻農業-氣候變遷對作物有害生物之影響及防治策略因應 (計畫編號：100 農科 - 9.2.2- 農 - C5)」、「加入世貿組織強化植物有害生物防範措施 (計畫編號：100 救助調整 - 檢 - 01)」之部份成果；在高嶺土開發的成果，係執行「熱帶果樹研究團隊 - 果樹重要植物菌質體病害媒介昆蟲診斷鑑定及田間管理策略之研究 (計畫編號：100 農科 - 9.2.1 - 農 - C7 (1))」計畫所產出；媒介葉蟬之鑑定與分類研究，則承國科會 「葉蟬塗抹與梳刷行爲於葉蟬科高階分類之應用 (計畫編號：NSC 98-2313-B-055 -006 -MY3)」計畫經費補助。作者謹此一併表達誌謝。

引用文獻

黃和炎、張明聰。1988。網室木瓜。第40-47頁。作物合理化施肥 (果樹篇)。黃山內、黃和炎主編。台南區農業改良場特刊第3號。台南。55 頁。

Aksoy S., B. Weiss, and G. Attardo, 2008. Paratransgenesis applied for control of tsetse transmitted sleeping sickness. Adv. Exp. Med. Biol. 627: 35-48.

Alma, A., S. Palermo, G. Boccardo, and M. Conti. 2001. Transmission of chrysanthemum yellows, a subgroup 16SrI-B phytoplasma, to grapevine by four leafhopper species. J. Plant Pathol. 83: 181-187.

Almeida, R. P. P., M. J. Blua, J. R. S. Lopes, and A. H. Purcell. 2005. Vector transmission of *Xylella fastidiosa*: Applying fundamental knowledge to generate disease management strategies. Ann. Entomol. Soc. Am. 98: 775-786.

Baldessari, M., F. Trona, G. Angeli, and C. Ioriatti. 2010. Effectiveness of five

insecticides for the control of adults and young stages of *Cacopsylla melanoneura* (Förster) (Hemiptera: Psyllidae) in a semi-field trial. Pest Manag. Sci. 66: 308-312.

Balfas, R., C. J. Lomer, T. L. Mardiningsih, and E. M. Adhi. 1991. Acquisition of *Pseudomonas syzygii* by *Hindola striata* (Homoptera: Machaerotidae). Indones. J. Crop Sci. 6: 65-72.

Bau, H. J., Y. K. Chen, and S. C. Hung. 2007. The investigation of insect vectors of papaya phytoplasma in Taiwan, pp. 197-207 *In* F. J. Jan, C. C. Chen, Y. K. Chen, and K. C. Tzeng [eds.]. 2007 Proceeding of Symposium on the insect-borne diseases and their control. Bureau of Animal and Plant Health Inspection and Quarantine (BAPHIQ), COA, Taipei & Department of Plant Pathology, National Chun Hsing University (NCHU), Taichung. Taiwan. 278 pp (in Chinese with English summary).

Bextine B., D. Lampe, C. Lauzon, B. Jackson, T. A. Miller, 2005. Establishment of a genetically marked insect-derived symbiont in multiple host plants. Curr. Microbiol. 50: 1-7.

Bigliardi, E., L. Sacchi, M. Genchi, A. Alma, M. Pajoro, D. Daffonchio, M. Marzorati, and A. M. Avanzati, 2006. Ultrastructure of a novel *Cardinium* sp. symbiont in *Scaphoideus titanus* (Hemiptera: Cicadellidae). Tissue and Cell 38: 257-261.

Brodbeck, B. V., R. F. Mizell III, W. J. French, P. C. Andersen, and J. H. Aldrich. 1990. Amino acids as determinants of host preference for the xylem feeding leafhopper, *Homalodisca coagulata* (Homoptera: Cicadellidae). Oecologia 83: 338-345.

Chang, C. J., C. E. Yonce, and D. Gardner. 1987. Suppression of leaf scald symptom in plum by oxytetracycline injection. Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 53: 345-353.

Chang K. P., and A. J. Musgrave, 1972. Multiple symbiosis in a leafhopper, Helochara communis Fitch (Cicadellidae: Homoptera): envelopes, nucleoids and inclusions of the symbiotes. J. Cell Sci. 11: 275-293.

Cordova, I., P. Jones, N. A. Harrison, and C. Oropeza. 2003. *In situ* PCR detection of phytoplasma DNA in embryos from coconut palms with lethal yellowing disease. Mol. Plant Pathol. 4: 99-108.

Costa, H. S., K. L. Robb, and C. A. Wilen. 2002. Field trials measuring the effects of ultraviolet-absorbing greenhouse plastic films on insect populations. J. Econ. Entomol. 95: 113-120.

Denny, T. P. 2006. Plant pathogenic *Ralstonia* species. pp. 573-644. *In*: S. S. Gnanamanickam, ed. Plant-Associated Bacteria. Springer. Netherlands. 712pp.

Favia G., I. Ricci, M. Marzorati, I. Negri, A. Alma, L. Sacchi, C. Bandi, and D. Daffonchio. 2008. Bacteria of the genus *Asaia*: a potential paratransgenic weapon against malaria. Adv. Exp. Med. Biol. 627: 49-59.

Gai C. S., P. T. Lacava, M. C, Quecine, M. C. Auriac, J. R. Lopes, W. L. Araújo, T. A. Miller, and J. L. Azevedo. 2009. Transmission of *Methylobacterium mesophilicum* by *Bucephalogonia xanthophis* for paratransgenic control strategy of citrus variegated chlorosis. J. Microbiol. 47: 448-454.

Glenn, D. M., G. J. Puterka, T. Vanderzwet, R. E. Byers, and C. Feldhake. 1999. Hydrophobic particle films: a new paradigm for suppression of arthropod pests

and plant disease. J. Econ. Entomol. 92: 759-771.

Gottwald, T. R. 2010. Current epidemiological understanding of citrus huanglongbing. Annu. Rev. Phytopathol. 48: 119-139.

Grylls, N. E., C. J. Waterford, B. K. Filshie, and C. D. Beaton. 1974. Electron microscopy of rugose leaf curl virus in red clover, *Trifolium pretense* and in the leafhopper vector *Austroagallia torrida*. J. Gen. Virol. 23: 179-183.

Hix, R. L. 2001. Egg-laying and brochosome production observed in glassy-winged sharpshooter. Calif. Agric. 55: 19-22.

Hung, T. H., S. C. Hung, C. N. Chen, M. H. Hsu, and H. J. Su. 2004. Detection by PCR of Candidatus *Liberibacter asiaticus*, the bacterium causing citrus Huanglongbing in vector psyllids: application to the study of vector-pathogen relationships. Plant Pathol. 53: 96-102.

Janse, J. D., and A. Obradovic. 2010. *Xylella fastidiosa*: its biology, diagnosis, control and risks. J. Plant Pathol. 92 (1, Supplement): S1.35-48.

Kunkel, L. O. 1946. Leafhopper transmission of corn stunt. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 32: 246-247.

Kuzina, L. V., J. J. Peloquin, D. C. Vacek, and T. A. Miller. 2001. Isolation and identification of bacteria associated with adult laboratory Mexican fruit flies, *Anastrepha ludens* (Diptera: Tephritidae). Curr. Microbiol. 42: 290-294.

Markham, P. G. 1983. Spiroplasmas in leafhoppers: a review. The Yale Journal of Biology and Medicine 56: 745-751.

Marzorati M., A. Alma, L. Sacchi, M. Pajoro, S. Palermo, L. Brusetti, N. Raddadi, A. Balloi, R.Tedeschi, E. Clementi, S. Corona, F. Quaglino, P. A. Bianco, T. Beninati, C. Bandi, and D. Daffonchio. 2006. A novel Baceroidetes symbiont is localized in *Scaphoideus titanus*, the insect vector of “flavescence dorèe” in *Vitis vinifera*. Appl. Environ. Microbiol. 72: 1467-1475.

Mitsuhashi W., T. Saiki, W. Wei, H. Kawakita, and M. Sato. 2002. Two novel strains of Wolbachia coexisting in both species of mulberry leafhoppers. Insect Mol. Biol. 11: 577-584.

Nault, L. 1980. Maize bushy stunt and corn stunt: A comparison of disease symptoms, pathogen host ranges, and vectors. Phytopathology 70: 659-662.

Niederhauser, J. S, and J. Cervantes. 1950. Transmission of corn stunt in Mexico by a new insect vector, *Baldulus elimatus*. Phytopathology 40: 20-21.

Negri I., M. Pellecchia, A. Patetta, and P. J. Mazzoglio. 2002. *Wolbachia pipientis* (Rickettsiales) in *Zyginidia pullula* (Homoptera Cicadellidae). In Proc. 11th Int. Auchenorrhyncha Congress, 5-9 August, Potsdam 2002 p. 87.

Negri I., M. Pellecchia, P. J. Mazzoglio, A. Patetta, and A. Alma. 2006. Feminizing *Wolbachia* in *Zyginidia pullula* (Insecta, Hemiptera), a leafhopper with an XX/X0 sex-determination system. Proc. Biol. Sci. 273: 2409-2416.

Negri I., A. Franchini, E. Gonella, D. Daffonchio, P. J. Mazzoglio, M. Mandrioli, and A. Alma. 2009. Unravelling the *Wolbachia* evolutionary role: the reprogramming of the host genomic imprinting. Proc. Biol. Sci. 276: 2485-2491.

Palermo, S., A. Arzone, and D. Bosco. 2001. Vector-pathogen-host plant relationships of chrysanthemum yellows (CY) phytoplasma and the vector leafhoppers

Macrosteles quadripunctulatus and *Euscelidius variegatus*. Entomol. Exp. Appl. 99: 347-354.

Posnette, A. F., and C. E. Ellenberger. 1963. Further studies of green petal and other leafhopper-transmitted viruses infecting strawberry and clover. Ann. Appl. Biol. 51:69-83.

Purcell, A. H. 1982. Insect vectors relationships with prokaryotic plant pathogens. Annu. Rev. Phytopathol. 20: 397-417.

Purcell, A. H., and D. L. Hopkins. 1996. Fastidious xylem-limited bacterial plant pathogens. Annu. Rev. Phytopathol. 34: 131-151.

Rakitov, R. A. 2004. Powdering of egg nests with brochosomes and related sexual dimorphism in leafhoppers (Hemiptera: Cicadellidae). Zool. J. Linn. Soc. 140: 353-381.

Redak, R. A., A. H. Purcell, J. R. S. Lopes, M. J. Blua, R. F. Mizell III, and P. C. Andersen. 2004. The biology of xylem fluid-feeding insect vectors of *Xylella fastidiosa* and their relation to disease epidemiology. Annu. Rev. Entomol. 49: 243-270.

Roberts, S. J., S. J. Eden-Green, P. Jones, and D. J. Ambler. 1990. *Pseudomonas syzygii* sp. nov., the cause of Sumatra disease of cloves. Systematic and Applied Microbiol. 13: 34-43.

Severin, H. H. P. 1950. Spittle-insect vectors of Pierce’s disease virus. II. Life history and virus transmission. Hilgardia 19: 357-382.

Shiomi, T., and M. Sugiura. 1984. Differences among *Macrosteles orientalis* - transmitted MLO, potato purple-top wilt MLO in Japan and aster yellows MLO from USA. Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 50: 455-460.

Skevington, J., and S. A. Marshall. 1997. First records of big-headed fly, *Eudorylas alternatus* (Cresson) (Diptera: Pipunculidae), reared from the subfamily Cicadellinae (Homoptera: Cicadellidae), with an overview of pipunculid-host associations in the Nearctic region. The Canadian Entomologist 129: 387-398.

Takiya, D. M., S. H. McKamey, and R. R. Cavichioli. 2006. Validity of *Homalodisca* and of *H. vitripennis* as the name for glassy-winged sharpshooter (Hemiptera: Cicadellidae: Cicadellinae). Ann. Entomol. Soc. Am. 99: 648-655.

Takiya D. M., P. L. Tran, C. H. Dietrich, and N. A. Moran. 2006. Co-cladogenesis spanning three phyla: leafhoppers (Insecta: Hemiptera: Cicadellidae) and their dual bacterial symbionts. Mol. Ecol. 15: 4175-4191.

Thompson, V. 1999. Spittlebugs associated with actinorhizal host plants. Can. J. Bot. 77(9): 1387- 1390.

Thompson, V. 2004. Associative nitrogen fixation, C4 photosynthesis, and the evolution of spittlebugs (Hemiptera: Cercopidae) as major pests of netropical sugarcane and forage grasses. Bull. Entomol. Res. 94: 189-200.

Todd, J. L., P. L. Phelan, and L. R. Nault. 1990. Interaction between visual and olfactory stimuli during host-finding by leafhopper, *Dalbulus maidis* (Homoptera: Cicadellidae). J. Chem. Ecol. 16: 2121-2133.

Triapitsyn, S. V., R. F. Mizell, J. L. Bossart, C. E. Carlton. 1998. Egg parasitoids of *Homalodisca coagulata* (Homoptera: Cicadellidae). Fla. Entomol. 81: 241-243.

Vincent, C., G. Hallman, B. Panneton, and F. Fleurat-Lessard. 2003. Management of agricultural insects with physical control methods. Annu. Rev. Entomol. 48: 261-281.

Walsh, K. B., J. N. Guthrie, and D. T. White. 2006. Control of phytoplasma diseases of papaya in Australia using netting. Australas. Plant Pathol. 25: 49-54.

Weintraub, P. G. 2007. Insect vectors of phytoplasmas and their control - an update. Bull. Insectol. 60: 169-173.

Weintraub, P. G., and L. Beanland. 2006. Insect vectors of phytoplasmas. Ann. Rev. Entomol. 51: 91-111.

Weintraub, P. G., S. Pivonia, and A. Gera. 2008. Physical control of leafhoppers. J. Econ. Entomol. 101: 1337-1340.

Weiss B. L., R. Mouchotte, R. V. Rio, Y. N. Wu, Z. Wu, A. Heddi, and S. Aksoy. 2006. Interspecific transfer of bacterial endosymbionts between tsetse fly species: infection establishment and effect on host fitness. Appl. Environ. Microbiol. 72: 7013-7021.

Wells, J. M., B. C. Raju, H. Y. Hung, W. G. Weisburg, L. Mandelco-Paul, and D. J. Brenner. 1987. *Xylella fastidiosa* gen, nov., sp. nov.: Gram-negative xylem-limited, fastidious plant bacteria related to *Xanthomonas* spp. Int. J. Syst. Bacteriol. 36:136-143.

Werren, J. H. 1997. Biology of *Wolbachia*. Annu. Rev. Entomol. 42: 587-609.

Werren, J. H., and D. M. Windsor. 2000. *Wolbachia* infection frequencies in insects: Evidence of a global equilibrium? Proc. Biol. Sci. 267: 1277-1285.

Wilson, M. R., and J. A. Turner. 2007. Progress in the study of sharpshooter leafhoppers (Hemiptera: Auchenorrhyncha: Cicadellidae) over 150 years: monographs, museums and individuals. Tijdschr. Entomol. 150 : 289-303.

Wilson, S. W., R. F. Denno, C. Mitter, and M. R. Wilson. 1994. Evolutionary patterns of host plant use by delphacid planthoppers and their relatives. In: R. F. Denno & T. J. Perfect (eds.), Planthoppers: Their Ecology and Management, (pp. 7-113). Chapman and Hall, New York.

Advance and application prospect in an integrated management of the vectors of plant pathogenic prokaryotes

Hsien-Tzung Shih [1,7], Chi-Yang Lee [1], Yu-Der Wen [2], Chiou-Chu Su [3], Shu-Chen Chang [1], Chung-Jan Chang [4,5], Shu-Jen Tuan [6], Chun-Yu Feng [3]

[1] Applied Zoology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Taichung, Taiwan, ROC
[2] Department of Biology, National Changhua University of Education, Changhua, Taiwan, ROC
[3] Taiwan Agricultural Chemicals And Toxic Substance Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan, Wu-feng , Taichung 413, Taiwan, ROC
[4] Department of Plant Pathology, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC
[5] Department of Plant Pathology, University of Georgia, Griffin, GA, USA
[6] Department of Entomology, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC
[7] Corresponding author, e-mail: htshih@tari.gov.tw

Abstract

The major vectors of prokaryotic plant pathogen are found within the Cicadellidae, Cercopoidea, Fulgoroidea, and Psylloidea. To date among all known methods for managing plant diseases caused by plant pathogenic prokaryotes have focused on controlling the vectors with insecticides. In general, vectors disseminate the disease pathogens quicker than the insecticides can act on the vectors. Researchers are turning to develop an integrated management technology to minimize the vector populations and hence lessen the disease incidence. The technology scheme is reviewed and discussed herein, including chemical controls by using insecticides of different chemical groups in rotation, biological controls by the usage of natural enemies and symbiont control, physical controls by the application of oils, kaolin, insect-proof screening, UV-absorbing plastics, or yellow sticky traps, and the tillage control measure.

Key words: plant pathogenic prokaryotes, insect vectors, integrated management technology, kaolin, symbiont control.

傳播番茄斑萎凋病毒屬病毒之薊馬及其防治研究

林鳳琪 [1] 王清玲 [1,3] 邱一中 [1] 鄭櫻慧 [2]

[1]. 行政院農業委員會農業試驗所應用動物組
[2] 行政院農業委員會農業試驗所植物病理組
[3]. 通訊作者 e-mail: clwang@tari.gov.tw

摘 要

薊馬傳播的番茄斑萎凋病毒屬 (*Tospovirus*) 病毒，廣泛分布世界各地，寄主多達千種以上，包括多種重要蔬菜、瓜果、花卉等作物，經常造成農作物重大經濟損失。薊馬是唯一傳播番茄斑萎凋病毒屬病毒的媒介昆蟲，迄今，全球已確認有 14 種薊馬傳播至少 20 種以上番茄斑萎凋病毒屬病毒。其中 6 種薊馬已有分布台灣之紀錄，包括台灣花薊馬 (*Frankliniella intonsa* (Trybom))、尖角薊馬 (*Frankliniella cephalica* (Crawford))、梳缺花薊馬 (*Frankliniella schultzei* (Trybom))、小黃薊馬 (*Scirtothrips dorsalis* Hood)、南黃薊馬 (*Thrips palmi* Karny) 及蔥薊馬 (*Thrips tabaci* Lindeman)，確認傳播番茄斑萎凋病毒 (*Tomato spotted wilt virus* (TSWV))、花生黃化扇斑病毒 (*Peanut chlorotic fan-spot virus* (PCFV))、番椒黃化病毒 (*Capsicum chlorosis virus* (CaCV))、彩色海芋黃化斑點病毒 (*Calla lily chlorotic spot virus* (CCSV))、洋香瓜黃斑病毒 (*Melon yellow spot virus* (MYSV))、西瓜銀斑病毒 (*Watermelon silver mottle virus* (WSMoV))、番茄黃輪病毒 (*Tomato yellow fruit ring virus* (TYFRV))。本文乃綜合相關文獻及研究調查資料，簡介在台灣媒介病毒的薊馬種類，其分布、植物棲所、生態習性及傳播病毒概況，同時也探討評估各種防治措施對傳毒薊馬之防治效益及適用性，做爲研擬防治對策及田間應用之參考

關鍵詞：番茄斑萎凋病毒屬、薊馬、傳播、防治。

前 言

薊馬屬於纓翅目 (Thysanoptera) 昆蟲，體型微小細長，長約 0.5-2 mm。全世界已記錄薊馬約 5000 種，分布於不同氣候區，薊馬大多以植物及眞菌爲食，取食植物時，利用刺吸式口器穿刺細胞吸取組織成份。在眾多的薊馬中，具經濟重要性者約有 100 種，在台灣則約有 20 種薊馬，因取食農園藝作物造成損失 (王及徐, 2007)，如小黃薊馬 (*Scirtothrips dorsalis* Hood) 、南黃薊馬 (*Thrips palmi* Karny)、台灣花薊馬 (*Frankliniella intonsa* (Trybom))、花薊馬 (*T. hawaiiensis* (Morgan))、蔥薊馬 (*T. tabaci* Lindeman)、蘭花薊馬 (*Dichromothrips corbetti* (Priesner)) 等。有些薊馬不但直接危害植物，也媒介傳播植物番茄斑萎凋病毒屬

病毒 (tospoviruses)。

番茄斑萎凋病毒屬 (*tospovirus*) 在植物病毒分屬 Bunyaviridae 科，屬名來自於本屬模式種-番茄斑萎病毒 (*Tomato spotted wilt virus* , TSWV)。本屬病毒分布廣，寄主中有多種爲重要經濟作物，如番茄、甜椒、瓜類及花卉等，本屬病毒感染農作物往往引起重大的經濟損失，單 1 種番茄斑萎凋病毒在美國 10 年就引起約 14 億美金的損失 (Riley *et al*., 2011)。台灣於 2006 及 2007 年，中南部地區栽培的洋香瓜，先後感染由南黃薊馬傳播的甜瓜黃斑病毒(*Melon yellow spot virus*, MYSV))與西瓜銀斑病毒(*Watermelon silver mottle virus*, WSMoV)(鄧等, 2009)，受害面積約 500 公頃，損失達新台幣二億五千萬元。因此，薊馬間接傳播病毒常常較直接取食危害植物來得嚴重。

全球已紀錄傳播番茄斑萎凋病毒 14 種薊馬 (黃及蘇, 2007; Whitfield *et al*., 2005; Pappu *et al*., 2009; Riley *et al*., 2011)，全屬於錐尾亞目，而以花薊馬屬 (*Frankliniella*) 及薊馬屬最爲普遍。在台灣則有 6 種薊馬傳播植物病毒之紀錄，包括台灣花薊馬、梳缺花薊馬 (*F. schultzei* (Trybom))、尖角薊馬 (*F. cephalica* (Crawford))、小黃薊馬、南黃薊馬、蔥薊馬，除梳缺花薊馬及尖角薊馬在台灣主要發生在雜草上，其他 4 種薊馬在台灣發生相當普遍，經常危害各種農作物造成重大損失。

本文整理全球已記錄之番茄斑萎凋病毒屬種類及其媒介薊馬種類、主要寄主及分布如表一，供植物保護相關人員查閱，尤其是對尚未存在台灣的薊馬及病毒有所了解，以便提高警覺，加強防範其傳入台灣，保障我國農業安全。此外，對薊馬傳播番茄斑萎凋病毒的機制、台灣傳播番茄斑萎凋病毒群薊馬種類的分布、植物棲所、生態習性及管理策略亦有所討論，提供傳毒薊馬防治之參考。

番茄斑萎凋病毒屬病毒

番茄斑萎凋病毒屬(*Tospovirus*)為 Bunyaviridae 病毒科之一屬，Bunyaviridae 科中約有 350 種病毒，番茄斑萎凋病毒屬病毒爲唯一寄生於植物者，其它均爲寄生人類或哺乳類動物之病原菌。番茄斑萎凋病毒屬內之種類鑑定，以核鞘蛋白 (nucleocapsid (N) protein amino acid) 基因的特性、媒介薊馬及寄主植物範圍依據，主要以病毒的核鞘蛋白中相同的核酸低於 90% 則認定爲一新種。本屬病毒之型態結構以番茄斑萎凋病毒 (TSWV) 爲例，爲一具有套模的球型病毒，直徑在 80-110 nm 之間，其基因組包含了三條單股基因體 RNA (ssRNA)。

番茄斑萎凋病毒屬長久以來只有番茄斑萎凋病毒 (*Tomato spotted wilt virus* , TSWV) (Brittlebank, 1919) 爲唯一種類，直到 1990 年(Law and Moyer)發現本屬第二個病毒-鳳仙花壞疽斑點病毒 (*Impatiens necrotic spot virus*, INSV) 後，本屬才有不同病毒種陸續在世界各地被發表紀錄，目前已發現 20 種 (表一)，分布在世界各地，其中以亞洲地區發生 15 種居冠(Pappu, 2009)。而本屬中以番茄斑萎凋病毒 (TSWV)、鳳仙花壞疽斑點病毒及鳶尾花黃斑病毒 (*Iris yellow spot virus*, IYSV) 廣佈全球五大洲。本屬病毒寄主非常廣泛，遍及單子葉及雙子葉 90 科植物 1090 種以上 (Parrella *et al*., 2003)，其中包括多種經濟作物、次要作物及眾多

雜草。著名的番茄斑萎凋病毒 (TSWV) 已知可感染超過 900 種植物，鳳仙花壞疽斑點病毒 (INSV) 則至少可感染 300 種植物。

感染番茄斑萎凋病毒屬病毒的植株，會產生局部褐色壞疽及褪綠的黃化輪狀斑點等病徵，這些病變可能出現在病株的葉、莖、花或果實等部位，伴隨著病毒的擴散而擴大，嚴重時造成生長點萎縮、葉片萎凋。其在植物體內為系統性感染，以感染生長初期的植物造成危害最大，往往阻礙罹病株的生長發育而矮化，嚴重時導致整株萎凋死亡。

薊馬傳播病毒之機制

薊馬傳播蕃茄斑萎凋病毒屬病毒的機制屬於持續增殖型 (persistent propagative manner)，這種傳播方式有別於其他形式的昆蟲，如非持續性傳播型的蚜蟲，病毒不需經過循環複製，於取食過程中即將病毒傳播出去；如粉蝨傳播形式為持續非增殖型，病毒雖然可以在粉蝨體內循環移動，但並不會增殖，粉蝨體內只要累積足量的病毒，即可傳播病毒。薊馬則藉由不對稱口器穿刺病株及吸取植物組織而獲得病毒，病毒由口腔進入消化道在中腸進行複製增殖後，透過細胞膜的滲透作用，將病毒移轉至唾液腺，再經過取食的作用，病毒伴隨著唾液注入植株體內。

具傳毒能力的薊馬只限成蟲，而且必須自一齡或二齡初期獲毒的幼蟲發育為成蟲後，方可將病毒傳播至植物上；老熟幼蟲及成蟲雖然取食病株得到病毒，但卻不具傳毒能力。這種特殊的傳毒機制似乎與本屬病毒在薊馬體內增殖與移轉有關，過去有三種假設理論，說明病毒在薊馬體內如何自中腸移至唾液腺 (Whitfield *et al.*, 2005)，但以 Moritz 等 (2004) 提出以薊馬個體發育學的論證較具說服力，同時也說明為何只有在一齡幼蟲獲毒發育為成蟲才有傳毒能力。Moritz 等解剖不同齡期的西方花薊馬幼蟲與成蟲個體，利用光學及掃描式電子顯微鏡比較這些個體內中腸、唾液腺及腦器官結構與位置，發現不同生長期，這些器官組織位置有所改變。一齡及二齡初期幼蟲的唾腺及中腸及內臟筋肉細胞均位於胸部，器官組織直接相互接觸，病毒可以在這些相鄰的器官組織間移動，由中腸移到唾液腺。但是當薊馬成長後，腦與唾液腺往前移，而中腸則往後移至後胸，造成這些器官產生隔離空間，因此阻礙了病毒在各器官組織間的移動，病毒無法由中腸移至唾腺因而無法接種自植株上，故成蟲期雖取食病株獲得病毒卻不具致病性。薊馬幼蟲取食病株 30 分鐘後即可獲毒，未成熟薊馬獲毒 1 次，病毒即可在體內增殖循環，當成蟲取食植物時將病毒傳至其他植物上，薊馬終身保留病毒至體內，但無法經卵傳播至子代。

傳播病毒之薊馬

目前全球有 20 種番茄斑萎凋病毒屬病毒由 14 種薊馬傳播，均屬纓翅目 (Thysanoptera) 錐尾亞目 (Terebrantia) 薊馬科 (Thripidae) 之種類，其中花薊馬屬 (*Frankliniella*) 8 種，薊馬屬 (*Thrips*) 3 種，跳薊馬屬 (*Scirtothrips*)、*Ceratothripoides* 及 *Dictyothrips* 屬各 1 種 。其中台灣存在 6 種薊馬傳播 7 種病毒 (表二)。

正確診斷鑑定害蟲及病害種類，在植物防疫檢疫是極爲重要的工作，惟有確認有害生物種類，才可降低國外農業重大害物傳入我國的風險，在防疫上也才能掌握疫情及對症下藥，採取正確有效的防治措施，減少農業生產的損失。薊馬體型細小，要正確分類鑑定實爲不易，均需製成玻片標本，鏡檢比對型態特徵後才能正確分類，爲一複雜且專精的學問。本文通訊作者曾出版「台灣薊馬生態與種類」一書 (王, 2002)，書中紀錄錐尾亞目薊馬 47 屬 120 種，對薊馬的型態及分屬特徵、薊馬種的型態特徵及分類檢索表，均有詳盡的描述介紹。2007 年又針對國內重要薊馬 23 種及國外常被檢出，對台灣農作物具威脅性薊馬 7 種，整理其相關分類鑑定相關資料出版成書 (王及徐, 2007)。近年爲因應植物檢疫或防疫上需要迅速判別薊馬種類，發展幼蟲鑑定分類方法 (林等, 2010)。以上書籍與研究文獻均提供豐富的資訊，供研究人員在薊馬分類鑑定上參考應用。本文限於篇幅不再重複相關薊馬鑑定特徵之文字描述。僅分別就台灣傳播病毒的薊馬簡介其分布及植物棲所、及傳播之番茄斑萎凋病毒之情況等，供未來研究及防治之參考。

一、台灣花薊馬 (*Frankliniella intonsa* (Trybom))

分布及植物棲所：台灣花薊馬分布全世界，尤其是歐洲及亞洲，但近年美國及加拿大也有發生的紀錄。本種薊馬棲息各種植物的花部，種類繁多，在台灣普遍發生在各種瓜類、豆類、玉米、蔥、花生、甘藍、百合、玫瑰及梨等薔薇科植物、菊科植物、蘭花及各種雜草 (王及徐, 2007)。不但出現於台灣平地、中高海拔地區也可發現，不但存在花部，偶而也會危害植物幼嫩組織。早年對農作物危害影響不太嚴重。但近年來，台灣耕作栽培習慣改變，農友將夏季無法生產栽培的溫帶蔬果如番茄、甜椒、甘藍等，移至較冷涼或海拔較高的區域栽植如苗栗縣南庄鄉及南投縣埔里、仁愛及信義鄉等地，因此台灣花薊馬危害此類蔬果較往年更爲頻繁。

主要傳播之病毒爲花生環斑病毒 *Groundnut ringspot virus*、鳳仙花壞疽斑點病毒 *impatiens necrotic spot virus*、番茄黃化斑點病毒 *Tomato chlorotic spot virus* (TCSV)、番茄斑萎凋病毒 (TSWV)。除了番茄斑萎凋病毒在台灣發生，其他 3 種病毒不均存在台灣。根據鄭等(2010)針對番椒病毒病害發生之調查，台灣在 2009 年檢測採集自南投縣仁愛鄉的青椒及辣椒樣本中，檢出茄斑萎凋病毒之比率達 86.8%，田間約有 50% 植株感染；2010 年的檢出比率則降至 32%，田間植株感染率低於 5% (鄭等, 2010)。作者等自 2009 至 2010 年起連續兩年，在每年 6-11 月，以黃色黏板誘集調查仁愛鄉青椒園的薊馬發生密度之結果顯示，2009 年每週黏板上誘得薊馬數平均爲 11.8-111.8 隻；2010 年誘得薊馬數平均 0.1-7.0 隻，所誘得薊馬經鑑定，有 85% 以上爲台灣花薊馬；同時，以西方漬染法 (western blotting) 檢測罹病株上台灣花薊馬體內病毒，其中約有 30% 樣品個體中檢出帶 TSWV 病毒，顯示該區域發生之病毒與台灣花薊馬關係密切，值得再深入探討。

二、尖角薊馬 (*Frankliniella cephalica* (Crawford))

分布及植物棲所：台灣、日本、百慕達、加勒比海群島、中美洲、墨西哥及美國。本種薊馬曾在番茄、柑橘、甘藷、紅樹及鬼針草上被發現，在台灣則普遍

存在多種雜草上，不曾危害經濟作物，直至 2010 年台灣才有其分布之紀錄 (Wang *et al*., 2010)。

主要傳播之病毒爲番茄斑萎凋病毒，尖角薊馬雖紀錄傳播番茄斑萎凋病毒，但在台灣少有在經濟作物上採集到，估計其在台灣散播本病毒的機率風險不高。

三、梳缺花薊馬 (*Frankliniella schultzei* (Trybom))

分布及植物棲所：原分布於熱帶或亞熱帶地區，目前更擴及北美及歐洲地區。本種薊馬在歐美之紀錄爲多食性，取食各種蔬菜及觀賞植物，以棉、花生、豌豆爲主，也會取食番茄、辣椒、甘藷等植物。在台灣發生不普遍，雖曾於空心菜、野牽牛、軟枝黃蟬、粉萼鼠尾草、蔥蘭及立鶴花等採得，但存在之密度不高。

主要傳播病毒為鳳仙花壞疽斑點病毒、菊花莖部壞疽病毒 (*Chrysanthemum stem necrosis virus*, CSNV) 、花生輪斑病毒 (*Groundnut ringspot virus*)、花生頂芽壞疽病毒 (*Peanut bud necrosis virus*)、番茄黃化斑點病毒 (*Tomato chlorotic spot virus*)、番茄斑萎凋病毒(*Tomato spotted wilt virus*) 等 6 種病毒，其中只有番茄斑萎凋病毒在台灣有存在之紀錄，其他四種病毒不存在台灣，但本地對梳缺花薊馬相關之研究報導甚少。本種薊馬有深色與淡色兩型，其中深色型者傳播病毒能力強，淡色型薊馬之傳毒能力尚待研究。

四、小黃薊馬 (*Scirtothrips dorsalis* Hood)

分布及植物棲所：分布亞洲、澳洲、美洲等。小黃薊馬寄主相當廣泛，包括芒果、柑橘、葡萄、茶、玫瑰、茉莉、茄子、花生、綠豆、大理花、非洲菊、洋桔梗、蓮等木本及草本植物，寄主達 150 種以上。

傳播之病毒爲花生芽斑病毒 (*Groundnut bud necrosis virus*)、花生黃化扇斑病毒 (*Peanut chlorotic fan-spot virus*)、花生黃斑病毒 (*Peanut yellow spot virus*)。3 種病毒在台灣只有花生黃化扇斑病毒發生之紀錄，其餘病毒不存在。

五、南黃薊馬 (*Thrips palmi* Karny)

分布及植物棲所：主要分布亞洲、大洋洲及美洲等，歐洲目前無南黃薊馬之紀錄。寄主相當廣泛，包括各種瓜類、豆類、茄科、十字花科、薔薇科、芸香科等植物。

傳播之病毒爲番椒黃化病毒 (*Capsicum chlorosis virus*, CaCV)、彩色海芋黃化斑點病毒 (*Calla lily chlorotic spot virus*, CCSV)、洋香瓜黃斑病毒 (*Melon yellow spot virus*, MYSV) 及西瓜銀斑病毒 (*Watermelon silver mottle virus*, WSMoV) ，台灣均有存在之紀錄。

六、蔥薊馬(*Thrips tabaci* Lindeman)

分布及植物棲所：分布全世界，寄主主要爲石蒜科之蔥、洋蔥、蒜、韭菜等。

傳播之病毒爲鳶尾花黃斑病毒 (*Iris yellow spot virus*, IYSV)、番茄斑萎凋病毒 (*Tomato spotted wilt virus*, TSWV)、番茄黃輪病毒 (*Tomato yellow fruit ring virus*, TYFRV)。台灣目前並無鳶尾花黃斑病毒存在之紀錄。

薊馬之生態習性

薊馬的生活史分爲卵、幼蟲、蛹及成蟲四期，雌蟲產卵於植物組織內，孵化後於植物幼嫩組織上爬行取食，大部分薊馬種之幼蟲行動迅速活潑，如花薊馬屬(*Frankliniella*)，少數行動較爲遲緩喜歡靜止棲息於葉片，如腹鉤薊馬(*Rhipiphorothrips cruentatus* Hood)。薊馬幼蟲分一、二齡，兩齡期蟲體形狀相似，但顏色可能不同，二齡蟲較大。老熟二齡幼蟲會跳離植株，落在附近土面，或是直接在葉背、枝條縫隙等較隱蔽處蛻皮化蛹爲前蛹，前蛹不再取食、排泄，且少有活動。前蛹再蛻皮一次爲蛹，蛹發育成熟後再蛻皮後爲成蟲。成蟲又繼續遷移至植物棲所上取食及繁衍後代。

薊馬由卵發育爲成蟲所需時間、成蟲壽命及產卵數，因薊馬種類、溫度、光線等環境條件及寄主植物而有差異。如在 15、20、25 及 30℃ 時、以茄子飼育南黃薊馬，自卵發育爲成蟲所需日數依序分別爲 43.5、22.7、13.5 及 8.9 日，溫度愈高發育速率愈快，雌成蟲壽命依序爲 71.3、63.5、29.7 及 13.4 日，溫度愈高壽命愈短；產卵數依序爲 7.0、18.1、34.5 及 15.6 粒，在 25℃ 產卵最多。由發育日數及產卵數量高低，推估南黃薊馬適合生活的溫度條件約 25℃ 左右，在此溫度下因發育迅速且繁殖量大，該寄主在此環境條件或季節時容易大發生。故了解探討薊馬的生活習性，有助於掌握防治時機及研擬適當有效的防治策略。

除南黃薊馬，尖角薊馬及梳缺花薊馬在台灣因較不具經濟重要性，相關資料闕如，其餘在台灣傳播病毒之薊馬之生態習性相似。台灣花薊馬、小黃薊馬、蔥薊馬等，在不同溫度及寄主之發育所需日數、成蟲壽命及產卵數等，於「台灣薊馬生態與種類」一書有整理列表摘要可資參考 (王及徐, 2002)，不再贅述。

薊馬之防治

薊馬體形細小，喜歡隱匿聚於心芽、嫩葉、花朵處取食，由於肉眼不易察覺，因而錯失防治時機，造成農作物的損害。此外薊馬產卵於葉肉組織內，受到良好的保護，大部分的蛹於樹皮隙縫、土中休眠鮮少取食，也是造成防治困難的原因。本文所討論的台灣花薊馬、小黃薊馬、南黃薊馬及蔥薊馬等，在台灣分布廣，爲害多種經濟作物，過去一、二十年來，常因氣候環境、作物種類及栽培管理技術之改變等因素，導致防治失敗，加上傳播病毒的問題，使薊馬的防治更複雜化。植物一旦感染病毒無法治療恢復健康，因此，在病害管理策略著重保護或降低病毒病害在作物發病的程度，移除或避免感染源的存在，以及減少病毒媒介昆蟲族群。

減少病毒病害首要之務爲栽植健康無毒之種苗，番茄斑萎凋病毒可以藉由已感染的植物種苗傳入栽培地，因此培育種苗時應保持無雜草並與生產區有所隔離，同時按常規防治傳毒薊馬。當作物定植於田間後應注意田間衛生，應儘快拔除已感染病毒的植株，避免薊馬傳播病毒感染鄰近的植株。許多雜草爲病毒的寄主，往往成爲提供媒介薊馬病毒的感染源，因此栽植作物之前應清除雜草，可避免薊馬傳播病毒危害新植株。

所有防治薊馬的手段中，選擇施以適當殺蟲劑可迅速降低薊馬族群數量，減

少傳播病毒，爲目前在台灣防治傳毒薊馬普遍使用的方法。薊馬對化學藥劑的感受性，常因寄主作物及區域不同而有不同，目前登記於植保手冊上防治各種作物薊馬類害蟲的殺蟲劑，種類達 40 種以上 (王及徐, 2002)。有些藥劑因經常使用，薊馬感受性低，施用田間已不具防治薊馬效果，故必須針對地區、作物而篩選適當藥劑，並經常更換輪替，以維持藥效。近年小黃薊馬危害各種經濟作物，根據農試所研究測試殺蟲劑對芒果上小黄薊馬之毒效之報導 (邱等, 2010)，在 30 種供試藥劑中，僅滅大松、芬殺松、加保扶、丁基加保扶、納乃得、滅賜克及賜諾殺等 7 種藥劑具防治芒果小黄薊馬之潛力。有鑒於台灣花薊馬在農作物上危害日益嚴重，農試所研究人員也曾在室內進行殺蟲劑對其毒效測定試驗 (未發表)，經供試藥劑 4.95% 芬普尼水懸劑稀釋 2000 倍、44% 加保扶水懸劑稀釋 800 倍、48.34% 丁基加保扶乳劑稀釋 1000 倍、10% 克凡派水懸劑稀釋 1000 倍、2.5% 賜諾殺水懸劑稀釋 2000 倍及 50% 馬拉松乳劑稀釋 500 倍等稀釋液處理後 24 h，台灣花薊馬之死亡率均達 90% 以上，供未來田間作物防治台灣花薊馬可選擇參考。薊馬個體微小具隱匿性，易躲藏於花苞內、新芽中、葉片背面、葉片絨毛等處，施藥後蟲體往往因未接觸藥液而無法發揮藥效。故以施藥時應均勻散布於植株上，可提高防治效果。

薊馬的天敵種類甚多，包括捕食性天敵如椿象、草蛉、瘿蚋、薊馬及捕植蟎等，其他如寄生蜂、蟲生眞菌等。其中有些天敵已被應用於農作物上進行生物防治。如台灣薊馬天敵中，南方小黑花椿象 (*Orius strigicollis* (Poppius)) 爲最具壓抑薊馬密度之功能，農試所已成功開發其大量繁殖之技術，釋放於田間防治紅豆豆花薊馬、茄園南黄薊馬，均有壓低害蟲密度提高產量的防治效果 (王等, 2002)。小黑花椿象具細長口器及良好的搜尋能力，具捕食隱匿於花朵等薊馬的特性，用於防治危害農作物的薊馬爲最佳的選擇，惟生物防治對壓低害蟲密度的效果，一般較藥劑使用來得緩慢，對於防治傳毒薊馬的策略，需迅速降低薊馬族群避免散播病毒而言，顯然並不適合做爲主要防治方法，若以藥劑防治爲主並搭配生物防治法，或可發揮共同防治效果，但必須先了解藥劑對天敵的毒效，開發選擇性藥劑避免毒殺天敵，爲急需建立的資料，相關研究試驗在台灣能有待研究人員的努力。

物理防治如銀色覆土資材、濾除紫外線塑膠膜及顏色黏板等，均可防除薊馬，在台灣以黄色、藍色黏紙應用較多。除了偵查或監測發生或調查族群密度，亦有大量放置栽培區誘殺害蟲，達到減少害蟲的方法，此法並不適合單獨做爲防治帶毒薊馬用，主要受顏色黏紙誘集而來者均爲成蟲，薊馬幼蟲不被誘引，而薊馬獲毒帶除均在一齡幼期，誘蟲黏紙無法誘殺以降低帶毒薊馬數量，一旦帶毒薊馬長爲成蟲後，傳播散佈病毒的機率大增。此外，目前黏蟲色紙的在台灣的價格遠高於化學藥劑，基於經濟效益的考慮，也是其在應用上受限之原因。

結 論

台灣的氣候環境非常適合薊馬發生繁衍，存在本地傳播番茄斑萎凋病毒屬病毒之薊馬有 6 種，爲全球傳毒薊馬種類 40%。傳播至少 7 種番茄斑萎凋病毒屬

之病害。這些薊馬經常直接取食產卵或間接傳播病毒病害，爲了防治這些薊馬與病毒，增加許多防治成本，且不一定得到相當的防治效果，因此，如何管理傳播病毒的薊馬是非常複雜與棘手問題。未來研究重點除開發薊馬整合性管理技術，結合用運各種防治法提高防治效果，以解決薊馬傳播病毒造成重大農作物損失之問題。此外，目前國際貿易活動頻繁，農產品自國外輸入的數量與種類日漸增加，具隱匿性的薊馬隨著進口之農產品入侵我國的風險也大爲提高。爲避免台灣尚未存在的薊馬及病毒病害侵入台灣，有賴防檢疫及相關植物保護人員，隨時提高警覺，唯有杜絕外來重大害蟲入侵，台灣農業的生產及國際貿易才能得到最大的保護。

引用文獻

王清玲。2002。台灣薊馬生態與種類-纓翅目錐尾亞目。農業試驗所特刊第99號 327頁。

王清玲、徐孟愉。2007。農園植物重要薊馬。農業試驗所特刊第 131 號 155 頁。

王清玲、李平全、吳炎融。2002。薊馬天敵－小黑花椿象（*Orius strigicollis*）之繁殖與利用。台灣昆蟲特刊第三號。農作物害蟲與害蟎生物防治研討會。157-174。

邱一中、林鳳琪、石憲宗、王清玲。2010。殺蟲劑對檬果小黃薊馬 (*Scirtothrips dorsalis* Hood) (Thysanoptera: Thripidae) 之毒效。台灣農業研究 59: 78-85。

林鳳琪、邱一中、徐孟愉、王清玲。2010．常見薊馬幼蟲形態鑑定。台灣農業研究 59: 151-164。

黃莉欣、蘇文瀛。2007。薊馬在Tospovirus 病害上的角色及其防治。植物蟲媒病害與防治研討會專刊 83-100頁。

鄧汀欽、鄭櫻慧、廖吉彥。2009。感染洋香瓜的病毒種類與病害流行趨勢。技術服務季刊 78: 9-11。

鄭櫻慧、陳金枝、廖吉彥、鄧汀欽、林鳳琪、詹富智。2010。番椒病毒病害之發生與調查。農業試驗所特刊 149: 227-239。

Abad, J. A., J. W. Moyer, G. G. Kennedy, G. A. Holmes, and M. A. Cubeta. 2005. Tomato spotted wilt virus on potato in eastern North Carolina. Am. J. Potato Res. 82:255–261.

Anfoka, G. H., M. Abhary, and M. R. Stevens. 2006. Occurrence of *Tomato spotted wilt virus* (TSWV) in Jordan. EPPO Bull. 36: 517-522.

Ben Moussa,A., M. Makni, and M. Marrakchi. 2000. Identification of the principal viruses infecting tomato crops in Tunisia. EPPO Bull. 30: 293-296.

Ben Moussa, A., M. Marrakchi, and M. Makni. 2005. Characterisation of *Tospovirus* in vegetable crops in Tunisia. Infect. Genet. Evol. 5, 312–322.

Brittlebank, C.C., 1919. Tomato diseases. J. Vic. Dept. Agric. 17: 231-235.

Bulaji ’ c, A., J. Jovi ’ c, S. Krnjaji ’ c, M. Petrov, I. Djeki’ c, and B. Krsti ’ c. 2008. First report of *Iris yellow spot virus* on onion (*Allium cepa*) in Serbia. Plant Dis. 92: 1247.

Burgmans, J. L., P. R. Fry, and R. G. Sunde. 1986. Peppers: survey of virus diseases of

Capsicum annuum in Hawke's Bay and Poverty Bay. N. Z. J. Exp. Agric. 14: 459-463.
Cannon, R.J.C., L. Matthews, and D. W. Collins. 2007. A review of the pest status and control options for *Thrips palmi*. Crop Prot. 26: 1089-1098.
Carter, W. 1961. Ecological aspects of plant virus transmissions. Annu. Rev. Entomol. 6: 347-370.
Chamberlain, E. E. 1954. Plant Virus Diseases in New Zealand. New Zealand Dept. Sci. Ind. Res. Bull. 108: 237.
Chen, C. C., and R. J. Chiu. 1996. A tospovirus infecting peanut in Taiwan. Acta. Hort. 431: 57-67.
Chen, C. C., C. H. Huang, T. C. Chen, S. D. Yeh, Y. H. Cheng, H. T. Hsu, and C. A. Chang. 2007a. First report of Capsicum chlorosis virus causing yellow stripes on calla lilies in Taiwan. Plant Dis. 91: 1201.
Chen, K., Z. Xu, L. Yan, and G. Wang. 2007b. Characterization of a new strain of Capsicum chlorosis virus from peanut (*Arachis hypogaea* L.) in China. J. Phytopathol. 155: 178-181.
Chen, T. C., Y. Y. Lu, Y.H. Cheng, C. A. Chang, and S. D. Yeh. 2008. *Melon yellow spot virus* in watermelon: a first record from Taiwan. Plant Pathol. 57: 765
Chiemsombat, P., O. Gajanandana, N.Warin, R. Hongprayoon, A. Bhunchoth, , P. Pongsapich. 2008. Biological and molecular characterization of tospoviruses in Thailand. Arch. Virol. 153: 571-577.
Cho, J.J., R. F. L. Mau, T. L. German, R. W. Hartmann, L. S. Yudin, D. Gonsalves, and R. Provvidenti. 1989. A multidisciplinary approach to management of tomato spotted wilt virus in Hawaii. Plant Dis. 73: 375-383.
Ciuffo, M., V. Masenga, E.Vivoda, B. W. Falk, and C. Kurowski. 2008a. A previously unreported *tospovirus* species isolated from melon crops in Mexico. J. Plant Pathol. 90: S2. 438.
Ciuffo,M., L.Tavella, D. Pacifico, V. Masenga, and M.Turina. 2008b. A member of a new *Tospovirus* species isolated in Italy from wild buckwheat (*Polygonum convolvulus*). Arch. Virol. 153: 2059-2068.
Cordoba-Selles, C., L. Martinez-Priego, R. Mun’ oz-Gomez, and C. Jorda-Gutierrez. 2005. *Iris yellow spot virus*: a new onion disease in Spain. Plant Dis. 89: 1243.
Coutts, B. A., L. A. McMichael, L. Tesoriero, B. C. Rodoni, C. R. Wilson, A. J. Wilson, D. M. Persley, and R. A. C. Jones. 2003. *Iris yellow spot virus* found infecting onions in three Australian States. Australas. Plant Pathol. 32: 555-557.
Cortez, I., J. Saaijer, K. S. Wongjkaew, A. M. Pereira, R. Goldbach, D. Peters,and R. Kormelink. 2001. Identification and characterization of a novel tospovirus species using a new RT-PCR approach. Arch. Virol. 146: 265-278.
Coutts, B. A., M. L. Thomas-Carroll, and R. A. C. Jones. 2004. Patterns of spread of *Tomato spotted wilt virus* in field crops of lettuce and pepper: spatial dynamics and validation of control measures. Ann. Appl. Biol. 145: 231-245.
Culbreath, A. K., A. S. Csinos, P. F. Bertrand, and J. W. Demski. 1991. Tomato spotted wilt virus epidemic in flue-cured tobacco in Georgia. Plant Dis. 75: 483-485.
Daniel, M., L. Ochoa, E. Zavaleta-Mejia, N. R. M. Johansen, G. A. Herrera, and S. E.

Cardenas.1996. Tospoviruses, weeds and thrips associated with chrysanthemum (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev cv. Polaris). Int. J. Pest Manage. 42: 157-159.

Daughtrey, M. L., R. K. Jones, J. W. Moyer, M. E. Daub, J. R. Baker. 1997. Tospoviruses strike the greenhouse industry: INSV has become a major pathogen on flower crops. Plant Dis. 81: 1220-1230.

de Avila, A.C., P. de Haan, R. Kormelink, O. Resende, de, R. W. Goldbach, and D. Peters.1993. Classification of tospoviruses based on phylogeny of nucleoprotein gene sequences. J. Gen. Virol. 74: 153-159.

de Breuil, S., J. A. Abad, C. F. Nome, F. J. Giolitti, P. L. Lambertini, S. Lenardon. 2007. *Groundnut ringspot virus*: an emerging tospovirus inducing disease in peanut crops. J. Phytopathol. 155: 251-254.

Dong, J. H., X. F. Cheng, Y. Y. Yin, Q. Fang, M. Ding, T. T. Li, L. Z. Zhang, X. X. Su, J. H. McBeath, and Z. K. Zhang. 2008. Characterization of tomato zonate virus, a new tospovirus in China. Arch. Virol. 135: 855-864.

de Borbon C. M, and O. Gracia. 1996. *Frankliniella schultzei* (Trybom), eficiente vector de Groundnut ringspot virus (GRSV) en cultivo de lechuga en Mendoza, Argentina. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, v.21, Suplemento, p.423.

de Borbon, C.M., O. Gracia, and R. Pıccolo.2006. Relationships between tospovirus incidence and thrips populations on tomato in Mendoza, Argentina. J. Phytopathol. 154: 93-99.

de Breuil, S., J. A. Abad, C. F. Nome, F. J. Giolitti, P. L. Lambertini, and S. Lenardon. 2007. Groundnut ringspot virus: an emerging tospovirus inducing disease in peanut crops. J. Phytopathol. 155: 251-254.

de Breuil, S., M. S. Nievas, F. J. Giolitti, L. M. Giorda, and S. L. Lenardon. 2008. Occurrence, prevalence and distribution of viruses infecting peanut in Argentina. Plant Dis. 92: 1237-1240.

du Toit, L.J., J. T. Burger, A. McLeod, M.Engelbrecht, and A. Viljoen. 2007. Iris yellow spot virus in onion seed crops in South Africa. Plant Dis. 91: 1203.

El-Wahab, A., A. S. El-Sheikh, and M. A. K. Elnagar. 2008. First record in Egypt of thrips *Frankliniella occidentalis* andimpatiens necrotic spot tospovirus. In: International Conference 2008 Diversifying Crop Protection, October 12-15, 2008, La Grande Motte, France.

EPPO. 2004. Data sheets on quarantine pests: Tomato spotted wilt tospovirus. Data sheets on quarantine pests (revision of original 1997c data sheet).

EPPO. 2005. Data sheets on quarantine pests: Chrysanthemum stem necrosis tospovirus.

Gent, D. H., L. J. du Toit, S. F. Fichtner, S. Krishna Mohan, H. R. Pappu, and H. F. Schwartz. 2006. *Iris yellow spot virus*: an emerging threat to onion bulb and seed production. Plant Dis. 90: 1468-1480.

Gera, A., A. Kritzman, J. Cohen, B. Raccah, Y. Antignus. 2000. Tospoviruses infecting vegetable crops in Israel. EPPO Bull. 30: 289-292.

Gibbs, A., A. Mackenzie, A. Blanchfield, P.Cross, C. Wilson, E. Kitajima, M. Nightingale, M. A. Clements. 2000. Viruses of orchids in Australia, their identification, biology and control. Aust. Orchid Rev. 65: 10-21.

Golnaraghi, A.R., N. Shahraeen, R. Pourrahim, Sh. Ghorbani,and Sh. Farzadfar. 2001. First report of *Tomato spotted wilt virus* on soybean in Iran. Plant Dis. 85: 1290.

Golnaraghi, A.R., R. Pourrahim, A. Ahoonmanesh, H. R. Zamani-Zadeh, Sh. Farzadfar. 2008. Detection and characterization of a distinct isolate of Tomato yellow fruit ring virus from potato. Plant Dis. 92: 1280-1287.

Gopal, K., M. Krishna Reddy, D.V.R. Reddy, and V. Muniyappa. 2010. Transmission of peanut yellow spot virus (PYSV) by Thrips, Scirtothrips dorsalis Hood in groundnut. Archives of Phytopathology And Plant Protection 43: 421-429.

Gracia, O., C. M. de Borbon, N. Granval de Millan, and G. V. Cuesta. 1999. Occurrence of different tospoviruses in vegetable crops in Argentina. J. Phytopathol. 147: 223-227.

Haliwell, R.S., and G. Philley.1974. Spotted wilt of peanut in Texas. Plant Dis. Rep. 58: 23-25.

Hall, J.M., K. Mohan, E. A. Knott, and J. W. Moyer. 1993. Tospoviruses associated with scape blight of onion (*Allium cepa*) seed crops in Idaho. Plant Dis. 77: 952.

Hassani-Mehraban, A., J. Saaijer, D. Peters, R. Goldbach, and R. Kormelink, 2005. A new tomato infecting tospovirus from Iran. Phytopathology 95: 852-858.

Hassani-Mehraban, A., J. Saaijer, D. Peters, R. Goldbach, and R. Kormelink. 2007.Molecular and biological comparison of two tomato yellow ring virus (TYRV) isolates: challenging the *Tospovirus* species concept. Arch. Virol. 152: 85-96.

Hoepting, C.A., J. K. Allen, K. D. Vanderkooi, M. Y. Hovius, M. F. Fuchs, H. R. Pappu, and M. R. McDonald. 2008. First report of *Iris yellow spot virus* on onion in Canada. Plant Dis. 92: 318.

Holguin-Pe˜na, R.J., and E.O.Rueda-Puente. 2007. Detection of *Tomato spotted wilt virus* in tomato in the Baja California peninsula of Mexico. Plant Dis. 91: 1682.

Huchette, O., C. Bellamy, R. Filomenko, B. Pouleau, S. Seddas, and H. R. Pappu. 2008. *Iris yellow spot virus* on shallot and onion in France. Plant Health Prog. Online, doi:10.1094/PHP-2008-0610-01-BR.

Jain, R.K., S. Bag, K. Umamaheswaran, and B. Mandal. 2007. Natural infection by tospovirus of cucurbitaceous and fabaceous vegetable crops in India. J. Phytopathol. 155: 22-25.

Jones, D.R. 2005. Plant viruses transmitted by thrips. Eur. J. Plant Pathol. 113: 119-157.

Kameya-Iwaki, M., K. Hanada, Y. Honda, and H. Tochihara. 1988. Awatermelon strain of tomato spotted wilt virus and some properties of its nucleocapsid. In: Abstracts of Papers, 5th International Congress of Plant Pathology, August 20-27, 1988, Kyoto, Japan, p. 65.

Kannan, H.O., and M. B. Mohamed. 2001. The impact of irrigation frequency on population density of thrips, *Thrips tabaci* Rom (Thripidae, Thysanoptera) and yield of onion in El Rahad, Sudan. Ann. Appl. Biol. 138: 129-132.

Kato, K., K. Hanada, and M. Kameya-Iwaki. 1999. Transmission mode, host range and electron microscopy of a pathogen causing a new disease of melon (*Cucumis melo*) in Japan. Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 65: 624-627.

Koike, S.T., Y. W. Kuo, M. R. Rojas, and R. L. Gilbertson. 2008. First report of *Impatiens necrotic spot virus* infecting lettuce in California. Plant Dis. 92: 1248.

Kritzman, A., M. Lampel, B. Raccah, and A. Gera. 2001. Distribution and transmission of Iris yellow spot virus. Plant Dis. 85: 838-842.

Kucharek, T., L. Brown, F. Johnson, and J. Funderburk. 2000. *Tomato SpottedWilt Virus* of Agronomic, Vegetable, and Ornamental Crops. Plant Pathology Fact Sheet Circ- 914. Florida Cooperative Extension Service/Institute of Food and Agricultural Sciences/University of Florida, 13 pp.

Jain,R. K., H. R. Pappu, S. S. Pappu, M. Krishna Reddy, and A. Vani. 1998. Watermelon bud necrosis tospovirus is a distinct virus species belonging to serogroup IV. Arch. Virol. 143: 1637-1644.

Law, M.D., and J. W. Moyer. 1990. A tomato spotted wilt-like virus with a serologically distinct N protein. J. Gen. Virol. 71: 933-938.

Lin, Y. H., L. W. Huang, and J. L. Hwang. 2005. Complete hydatidiform mole with a coexisting fetus resulting from in vitro fertilization. International Journal of Gynecology and Obstetrics Vol: 90, Issue: 1, pp. 74-75.

Lin, Y. H., Y. C. Liu, W. Y. I. Tseng, J. M. Juang, C. S. Hung, J. W. Lin, J. S. Jeng, P. K. Yip, and H. L. Kao. 2006. The Impact of Lesion Length on Angiographic Restenosis after Vertebral Artery Origin Stenting. International Journal of Gynecology and Obstetrics Vol: 44, Issue: 4, pp. 907.

Lebas, B. S. M., and F. M. Ochoa-Corona. 2007. *Impatiens necrotic spot virus*. In: Rao, G.P., C. Bragard, and B. S. M.Lebas. (Eds.), Characterization, Diagnosis and Management of Plant Viruses. Vol. 4: Grain Crops and Ornamentals. Stadium Press LLC, Texas, pp. 221-243.

Lebas, B.S.M., F. M. Ochoa-Corona, D. R. Elliott, Z. Tang, B. J. R. Alexander, and K. J. Froud. 2004. An investigation of an outbreak of *Impatiens necrotic spot virus* in New Zealand. Phytopathology 94: S57-58 (Abstr.).

Leinhos, G., J. Muller, M. Heupel, and H. J. Krauthausen. 2007. *Iris yellow spot virus* an Bund- und Speisezwiebeln-erster Nachweis in Deutschland. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 59: 310-312.

Maluf, W.R., M. Toma-Brahini, and R. D. Corte. 1991. Progress in breeding tomatoes for resistance to tomato spotted wilt. Braz. J. Genet. 14: 509-525.

Mandal, B., R. K. Jain, V. Chaudhary, and A. Varma. 2003. First report of natural infection of *Luffa acutangula* by Watermelon bud necrosis virus in India. Plant Dis. 87: 598.

Massumi, H., A. Samei, A. Hosseini Pour, M. Shaabanian, and H. Rahimian. 2007. Occurrence, distribution, and relative incidence of seven viruses infecting greenhouse-grown cucurbits in Iran. Plant Dis. 91: 159-163.

Massumi, H., M. Shaabanian, A. Hosseini Pour, J. Heydarnejad, and H. Rahimian. 2009. Incidence of viruses infecting tomato and their natural hosts in the southeast and central regions of Iran. Plant Dis. 93: 67-72.

Matsuura, S., K. Kubota, and M. Okuda. 2007. First report of Chrysanthemum stemnecrosis virus on chrysanthemums in Japan. Plant Dis. 91: 468.

McMichael, L.A., D. M. Persley, and J. E. Thomas. 2002. A new tospovirus serogroup IV species infecting capsicum and tomato in Queensland, Australia. Australas. Plant Pathol. 31: 231-239.

McPherson, R.M., H. R. Pappu, and D. C. Jones. 1999. Occurrence of five thrips species on flue-cured tobacco and impact on spotted wilt disease incidence in Georgia. Plant Dis. 83: 765-767.

Moritz, G., Kumm, S., and Mound, L. 2004. Tospovirus transmission depends on thrips ontogeny. Virus Res. 100: 143-149.

Moyer, J.W., J. A. Abad, D. Ullman, and K.Mohan. 2003. INSV and IYSV: the other tospoviruses in the United States. Phytopathology 93: S115.

Mullis, S.W., R. D. Gitaitis, C. Nischwitz, A. S. Csinos, Z. C. Rafael Mallaupoma, and E. H. Inguil Rojas. 2006. First report of onion (*Allium cepa*) naturally infected with *Iris yellow spot virus* in Peru. Plant Dis. 90: 377.

Mumford, R.A., I. Barker, and K. R. Wood. 1996. The biology of the tospoviruses. Ann. Appl. Biol. 128: 159-183.

Mumford, R.A., B. Jarvis, J. Morris, and A. Blockley, 2003. First report of Chrysanthemum stem necrosis virus (CSNV) in the UK. Plant Pathol. 52:779.

Nischwitz, C., H. R. Pappu, S. W. Mullis, A. N. Sparks, D. R. Langston, A. S. Csinos, and R. D. Gitaitis. 2007a. Phylogenetic analysis of *Iris yellow spot virus* isolates from onion (*Allium cepa*) in Georgia (USA) and Peru. J. Phytopathol. 155: 531-535.

Nischwitz, C., R. D. Gitaitis, S. W. Mullis, A. S. Csinos, D. B. Langston Jr., and A. N. Sparks. 2007b. First report of *Iris yellow spot virus* in spiny sowthistle (*Sonchus asper*) in the United States. Plant Dis. 91: 1518.

Ohnishi, J., H. Katsuzaki, S. Tsuda, T. Sakurai, K. Akutsu, and T. Murai. 2006. *Frankliniella cephalica*, a new vector for *Tomato spotted wilt virus*. Plant Dis. 90: 685.

Paliwal, Y. C. 1974. Some properties and thrips transmission of tomato spotted wilt virus in Canada. Can. J. Bot. 52: 1177-1182.

Pappu, H. R., Jones, R. A., and Jain, R. K. 2009. Global status of tospovirus epidemics in diverse cropping systems: successes achieved and challenges ahead. Virus Res. 141: 219-236.

Parrella, G., Gognalons, P., Gebre-Selassiè, K., Vovlas C., and Marchoux, G. An update of host range of tomato spotted wilt virus. J. Plant Pathol. 85: 227-264.

Pearson, M. N., G. R. G. Clover, P. L. Guy, J. D. Fletcher, and R. E. Beever. 2006. A review of the plant virus, viroid and mollicute records for New Zealand. Australas. Plant Pathol. 35: 217-252.

Persley, D. M., J. E. Thomas, and M. Sharman. 2006. Tospoviruses—an Australian perspective. Australas. Plant Pathol. 35: 161-180.

Peters, D., I. Wijkamp, F. van de Wetering, and R. Goldbach. 1996. Vector relations in the transmission and epidemiology of tospoviruses. Acta. Hort. 431: 29-43.

Pietersen, G., and J. Morris. 2002. Natural occurrence of groundnut ringspot virus on soybean in South Africa. Plant Dis. 86: 1271.

Poole, G.J., H. R. Pappu, R. M. Davis, and T. A. Turini. 2007. Increasing outbreaks andimpact of *Iris yellowspot virus* in bulb and seed onion crops in the Imperial and Antelope Valleys of California. Plant Health Prog. Online, doi:10.1094/ PHP-2007-0508-01- BR.

Premachandra, W.T.S.D., C. Borgemeister, E. Maiss, D. Knierim, H. M. Poehling. 2005. *Ceratothripoides claratris*, a newvector of a Capsicum chlorosis virus isolate infecting tomato in Thailand. Phytopathology 95: 659-663.

Rasoulpour, R., and K. Izadpanah. 2007. Characterisation of cineraria strain of Tomato yellow ring virus from Iran. Australas. Plant Pathol. 36: 286-294.

Ravi, K.S., A. S. Kitkaru. and S. Winter. 2006. *Iris yellow spot virus* in onions: a new tospovirus record from India. Plant Pathol. 55: 288.

Reddy, D.V.R. 1989. Peanut yellow spot virus. In: Brunt, A.A., K. Crabtree, M. J. Dallwitz, A. J. Gibbs, L. Watson, and E. J. Zurcher. (Eds.), Plant Viruses Online: Description and Lists from the ViDE Database. Version: August 20, 1996. http://biology.anu.edu.au/Groups/MES/vide/.

Reddy, D. V. R., A. A. M. Buiel, T. Satyanarayana, S. L. Dwivedi, A. S. Reddy, A. S. Ratna, K. Vijaylakshmi, G. V. Ranga Rao, R. A. Naidu, and J. A. Wightman. 1995. Peanut bud necrosis virus disease: an overview. In: Buiel, A. A. M., J. E. Parlevliet, and J. M. Lenne. (Eds.), Recent Studies on Peanut BudNecrosis Disease: Proceedings of a Meeting. March 20, 1995, ICRISAT Asia Centre, pp. 3-7.

Riley, D. G., Joseph, S.V., Srinivasan, R., and Diffie, S. 2011. Thrips Vectors of Tospoviruses. J. Integ. Pest. Mngmt. 2: 1-10.

Robene-Soustrade, I., B. Hostachy, M. Roux-Cuvelier, J. Minatchy, M. Hedont, R. Pallas, A. Couteau, N. Cassam, and G. Wuster. 2005. First report of *Iris yellow spot virus* in onion bulb and seed production fields in Reunion Island. New Dis. Rep., 11, http://www.bspp.org.uk/NDR/july2005/2005-33.asp.

Rosales, M., H. R. Pappu, L. Lopez, R. Mora, and A. Aljaro. 2005. *Iris yellow spot virus* in onion in Chile. Plant Dis. 89: 1245.

Rosales, M., H. R. Pappu, C. Arayam, and A. Aljaro. 2007. Characterization of *Tomato spotted wilt virus* (*Tospovirus*, *Bunyaviridae*) from lettuce (*Lactuca sativa*) in Chile. Phytopathology 97: S101.

Rosello, S., M. J. Diez, and F. Nuez. 1996. Viral diseases causing the greatest economic losses to tomato crop. I. The tomato spotted wilt virus: a review. Sci. Hort. 67: 117-150.

Rybicki, E. P., and G. Pietersen. 1999. Plant virus disease problems in the developing world. Adv. Virus Res. 53: 127-175.

Sherwood, J. L., T. L. German, J. W. Moyer, D. E. Ullman, and A. E. Whitfield. 2000. Tomato spotted wilt. In: Maloy, O.C., and T. D. Murray. (Eds.), Encyclopedia of Plant Pathology. John Wiley and Sons, New York, pp. 1030-1031.

Shigeharu T., S. Yoshifumi, and I. Koichi. 2009.First report of Melon yellow spot virus infecting balsam pear (Momordica charantia L.) in Japan. *J Gen Plant Pathol*. 75: 154-156

Singh, A. B., and S. K. Srivatava. 1995. Status and control strategy of peanut bud necrosis disease in Uttar Pradesh. In: Buiel, A. A. M., J. E. Parevliet, and J. M. Lenne. (Eds.) Recent Studies on Peanut Bud Necrosis Disease: Proceedings of a Meeting. March 20, 1995, ICRISAT Asia Center, India; Patancheru, Andhra Pradesh, India. International Crop Research Institute for the Semi-Arid Tropics, pp. 65-68.

Singh, S.J., and M. Krishnareddy. 1996.Watermelon bud necrosis: a new tospovirus disease. Acta. Hort. 431: 68-77.

Sivprasad, B. J.,and A. Gubba. 2008. Isolation and molecular characterization of Tomato spotted wilt virus (TSWV) isolates occurring in South Africa. Afr. J. Agric. Res. 3: 428-434.

Smith, K. M. 1932. Studies on plant virus diseases. XI. Further experiments with a ringspot virus: its identification with spotted wilt of tomato. Ann. Appl. Biol. 19: 305-320.

Smith, K. M. 1957. A Textbook of Plant Virus Diseases, 2nd ed. Churchill, London.

Takeuchi, S., Y. Shimomoto, and K. Ishikawa. 2009. First report of Melon yellow spot virus infecting balsam pear (Momordica charantia L.) in Japan. J. Gen. Plant Pathol. 75: 154-156.

Nagata, T., K. R. Carvalho, R. D., A. Sodré, L. S. Dutra, P. A. Oliveira, E. F. Noronha, F. A. Lovato, R. D., O. Resende, A. C. De Avila, and A. K. Inoue-Nagata. 2007. The glycoprotein gene of Chrysanthemum stem necrosis virus and Zucchini lethal chlorosis virus and molecular relationship with other tospoviruses. Virus genes 35: 785-793.

Tate, K. G., J. D. Fletcher, D. W. Manktelow, A. J. Kale, and I. S. Brice. 1991. Identification of viruses in process tomatoes using commercial ELISA kits. In: Proceedings of the 44th New ZealandWeed and Pest Conference, pp. 129-133.

Thompson, G. J., and J. J. B. van Zijl. 1996. Control of tomato spotted wilt virus in tomatoes in South Africa. Acta. Hort. 431: 379-384.

Todd, J. W., and A. K. Culbreath, and S. L. Brown, 1996. Dynamics of vector populations and progress of spotted wilt disease relative to insecticide use in peanuts. Acta. Hort. 431: 483-490.

Uys, M. D. R., A. H.Thompson, and G. Holz. 1996. Diseases associated with tomato in the main tomato-growing regions of South Africa. J. S. Afr. Soc Hort. Sci. 6, 78-80.

Vijaya Lakshmi, K. 1994. Transmission and ecology of *Thrips palmi* Karny, the vector of peanut bud necrosis virus. Ph.D. Thesis. Andhra Pradesh Agricultural University, Rajendranagar, Hyderabad, Andhra Pradesh, India. p. 99.

Ward L.I., Z. Perez-Egusquiza, J. D.Fletcher, F.M. Ochoa Corona, J. Z. Tang, L. W. Liefting, E. J. Martin, B. D. Quinn, H. R. Pappu, and G. R. G. Clover. 2008. First Report of Iris yellow spot virus on *Allium cepa* in New Zealand. Plant Pathol. 58: 406.

Wang, C. L., Lin, F. C., Chiu, Y. C., and Shih, H. T. 2010. Species of *Frankliniella* Trybom (Thysanoptera: Thripidae) from the Asia-Pacific Area. Zool. Stud. 49: 824-838.

Wangai, A. W., B. Mandal, H. R. Pappu, and S. Kilonzo. 2001. Outbreak of Tomato spotted wilt virus in tomato in Kenya. Plant Dis. 85, 1123.

Whitfield, A. E., Ullman, D. E., and German, T. L. 2005. Tospovirus-thrips interactions. Annu. Rev. Phytopathol. 43: 459-489.

Winter, S., N. Shahraeen, M. Koerbler, and D. E. Lesemann. 2006. Characterization of tomato fruit yellowring virus: a new*Tospovirus* species infecting tomato in Iran. Plant Pathol. 55: 287.

Wongkaew, S., 1995. Peanut bud necrosis disease in Thailand. In: Buiel, A. A. M.,

Parevliet, J. E., Lenne, J.M. (Eds.), Recent Studies on Peanut Bud Necrosis Disease: Proceedings of a Meeting. March 20, 1995, ICRISAT Asia Center, India, pp. 55-59.

Zheng, Y. X., C. C. Chen, Y. K. Chen, and F. J. Jan. 2008. Identification and characterization of a potyvirus causing chlorotic spots on Phalaenopsis orchids. Eur J Plant Pathol. 121: 87-95.

Zheng, Y. X., C. C. Chen, C. J. Yang, S. D. Yeh, and F.J. Jan. 2008. Identification and characterization of a tospovirus causing chlorotic ringspots on Phalaenopsis orchids. Eur J Plant Pathol. 120: 199-209.

Thrips vectors of tospoviruses and their control

Feng-Chyi Lin[1], Chin-Ling Wang[1,3], Yi-Chung Chiu[1], and Ying-Huey Cheng[2]

[1] Respectively, Associate Entomologist, Senior Entomologist and Director, Assistant Entomologist, Applied Zoology Division, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC
[2] Associate Entomologist, Plant Pathology Division, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC
[3] Corresponding author, e-mail: clwang@tari.gov.tw

Abstract

Thrips-transmitted tospoviruses are a major plant viruses that infect over 1,000 plant species and cause severe yield losses to vegetable and ornamental crops worldwide. Thrips are validated as the only vectors that transmit tospoviruses in a persistent propagative manner. Fourteen thrips species were documented to spread more than 20 identified tospoviruses globally. Among them, six thrips vectors were reportedly distributed in Taiwan, including *Frankliniella intonsa* (Trybom), *Frankliniella cephalica* (Crawford), *Frankliniella schultzei* (Trybom), *Scirtothrips dorsalis* Hood, *Thrips palmi* Karny and *Thrips tabaci* Lindeman. Those thrips were reported to carry one or more of the following viruses that could infect numerous plants: *Tomato spotted wilt virus* (TSWV), *Peanut chlorotic fan-spot virus* (PCFV), *Capsicum chlorosis virus* (CaCV), *Calla lily chlorotic spot virus* (CCSV), *Melon yellow spot virus* (MYSV), *Watermelon silver mottle virus* (WSMoV), and *Tomato yellow fruit ring virus* (TYFRV). This paper compiles the information of relevant literatures and survey data to discuss the current status of thrips vectors in Taiwan including their distribution and plant habitats and their vectoring of viruses. In addition, the suitability and efficiency of various control tactics of thrips vectors for the eventual development of control measures will be discussed.

Key words: thrips, *tospovirus*, transmission, control.

表一、全球番茄斑萎凋病毒屬病毒及其媒介薊馬種類

Table 1. Recognized *Tospovirus* species and their documented vectors

Tospoviruses	Thrips vectors	Main host plants	Distribution	References
Capsicum chlorosis virus (CaCV)	*Ceratothripoides claratris*, *Thrips palmi*	Peanut, chili pepper, pepper, tomato, *Hoyaaustralis*, calla lily ,Orchid *Pterostylis* , *Phalaenopsis* orchids	Australia, India, Taiwan, Thailand, China	Chen *et al*., 2007; Gibbs *et al*, 2000; Kunkalikar *et al*., 2007; Krishnareddy *et al*., 2008; McMichael *et al*., 2002; Persley *et al*., 2006; Premachandra *et al*., 2005; Zheng *et al*., 2008
Calla lily chlorotic spot virus (CCSV)	*T. palmi*	Calla lily	Asia, Taiwan	Lin *et al*., 2005.; Lin *et al*., 2006.
Chrysanthemum stem necrosis virus (CSNV)	*Frankliniella occidentalis* *F. schultzei* *F. gemina*	Chrysanthemum	Brazil, Japan	Matsuura *et al*., 2007; Mumford *et al*., 2003; EPPO, 2005; Nagata *et al*. 2007
Groundnut bud necrosis virus (GBNV)	*F. schultzei* *T. palmi* *Scirtothrips dorsalis*	Peanut, potato, soybean, tomato	Asia, China, India, Iran, Nepal, Sri Lanka, Thailand.	Chiemsombat *et al*., 2008; Reddy *et al*., 1995; Singh & Srivatava 1995; Vijaya Lakshmi 1994; Wongkaew 1995

Tospoviruses	Thrips vectors	Main host plants	Distribution	References
Groundnut ringspot virus (GRSV)	*F. occidentalis* *F. schultzei* *F. intonsa*	Tomoto, peanut, soybean	Argentina, Brazil, Egypt, South Africa	de Avila *et al.*, 1993; de Borbon & Gracia, 1996; de Borbon *et al.*, 2006; de Breuil *et al.*, 2007, 2008; El-Wahab *et al.*, 2008; Pietersen & Morris, 2002
Impatiens necrotic spot virus (INSV)	*F. occidentalis* *F. schultzei* *F. intonsa*	Begonia, chrysanthemum, cyclamen, freesia, gerbera, impatiens, lisianthus, lobelia, primula, ranunculus	Caribbean Canada, Europe, New Zealand, Mexico, USA	Lebas *et al.*, 2004; Ward *et al.*, 2008; Daniel *et al.*, 1996; Daughtrey *et al.*, 1997; EPPO, 2004; Gent *et al.*, 2006; Gracia *et al.*, 1999; Hall *et al.*, 1993; Hoepting *et al.*, 2008; Jones 2005; Koike *et al.*, 2008; Law & Moyer, 1990; Lebas *et al.*, 2004; Lebas & Ochoa-Corona 2007; Moyer *et al.*, 2003; Paliwal, 1974; Peters *et al.*, 1996; Maluf *et al.*, 1991; Sherwood *et al.*, 2000

Tospoviruses	Thrips vectors	Main host plants	Distribution	References
Iris yellow spot virus (IYSV)	*T. tabaci*	Onion, ornamentals, Orchid *Pterostylis*, *Pterostylis* plants	America, Australian, Brazil, Canada, Chile, France, Germany, Guatemala, Israel, India, South Africa, Mexico, Netherlands, New Zealand, Peru, Serbia, Spain	Bulaji'c *et al.*, 2008; Cordoba-Selles *et al.*, 2005; Coutts *et al.*, 2004; Coutts *et al.*, 2003; Daniel *et al.*, 1996; Daughtrey *et al.*, 1997; du Toit et al., 2007; Gent *et al.*, 2006; Gibbs *et al.*, 2000; Hall *et al.*, 1993; Huchette *et al.*, 2008; Kannan & Mohamed 2001; Kritzman *et al.*, 2001; Law & Moyer, 1990; Lebas *et al.*, 2004; Leinhos *et al.*, 2007; Moyer *et al.*, 2003; Mumford *et al.*, 2003; Mullis *et al.*, 2006; Nischwitz *et al.* 2007; Paliwal, 1974; Poole *et al.*, 2007; Ravi *et al.*, 2006; Robene-Soustrade *et al.*, 2005; Rosales *et al.*, 2005; Sherwood *et al.*, 2000; Ward *et al.*, 2008
Melon severe mosaic virus (MSMV)		Melons	Japan ,Mexico	Ciuffo *et al.*, 2008; Shigeharu *et al.*, 2009
Melon yellow spot virus (MYSV)	*T. palmi*	Balsam pear, Melons	China, Japan, Prefecture, Shizuoka, Taiwan	Kato *et al.*, 1999; Chen *et al.*, 2007; Chen *et al.*, 2008; Takeuchi *et al.*, 2009

Tospoviruses	Thrips vectors	Main host plants	Distribution	References
Peanut chlorotic fan-spot virus (PCFV)	*S. dorsalis*	Peanut	Taiwan	Chen & Chiu, 1996
Polygonum ringspot virus (PoRSV)	*S. dorsalis*	Wheat	Italy	Ciuffo *et al.*, 2008
Physalis severe mottle virus (PSMV)		Physalis	Asia, Thailand	Cortez *et al.*, 2001
Peanut yellow spot virus (PYSV)	*S. dorsalis*	Peanut	China, India	Chen *et al.*, 2007; Gopal *et al.* 2010; Reddy, 1989
Tomato chlorotic spot virus (TCSV)	*F. intonsa* *F. occidentalis* *F. schultzei*	Tomato	Iran, South America	Massumi *et al.*, 2009

Tospoviruses	Thrips vectors	Main host plants	Distribution	References
Tomato spotted wilt virus (TSWV)	*F. occidentalis* *F. cephalica* *F. bispinosa* *F. fusca* *F. intonsa* *F. schultzei* *T. setosus* *T. tabaci*	Aster, cabbage, calendula, chrysanthemum, cucurbits, lettuce, pepper, potato, peanut, pineapple, tobacco, tomato, soybean	Algeria, Australian, Canada, Chile, Europe, Iran, Israel, Japan, Kenya, Egypt, Korea, Libya, Madagascar, Mauritius, Mexico, Morocco, New Zealand, Niger, Nigeria, Portugal, Senegal, South Africa, Sudan, Taiwan, Tanzania, Tunisia, Uganda, USA, Zaire, Zimbabwe, Spain	Abad *et al.*, 2005; Anfoka *et al.*, 2006; Ben Moussa *et al.*, 2000, 2005; Brittlebank, 1919; Burgmans *et al.*, 1986; Carter, 1961; Chamberlain, 1954; Cho *et al.*, 1989; Culbreath *et al.*, 1991;Daniel *et al.*, 1996; Daughtrey *et al.*, 1997; EPPO, 2004; Gera *et al.*, 2000; Gracia *et al.*, 1999; Gent *et al.*, 2006; Golnaraghi *et al.*, 2001; Haliwell & Philley, 1974; Hall *et al.*, 1993; Hoepting *et al.*, 2008; Holguin-Pe˜na & Rueda-Puente 2007; Jones, 2005; Kucharek *et al.*, 2000; Law & Moyer, 1990; Lebas & Ochoa-Corona, 2007; Maluf *et al.*, 1991;Massumi *et al.*, 2007, 2009; McPherson *et al.*, 1999; Mumford *et al.*, 1996; Moyer *et al.*, 2003; Ohnishi *et al.*, 2006; Pearson et al, 2006; Paliwal, 1974; Persley et al., 2006; Peters et al., 1996; Rosales et al., 2007; Rybicki and Pietersen, 1999; Sherwood et al., 2000; Sivprasad and Gubba, 2008; Smith, 1932; Smith, 1957; Tate et al., 1991; Todd et al., 1996; Thompson and van Zijl, 1996; Uys et al., 1996; Wangai et al., 2001

Tospoviruses	Thrips vectors	Main host plants	Distribution	References
Tomato yellow fruit ring virus (TYFRV)	*T. tabaci*	Potato, tomato, soybean, ornamentals	Asia, Taiwan, Iran	Golnaraghi *et al.*, 2008; Hassani-Mehraban, *et al.* 2007; Hassani-Mehraban *et al.*, 2005; Rasoulpour & Izadpanah, 2007; Winter *et al.*, 2006; Zheng, *et al.* 2008
Tomato zonate spot virus (TZSV)	*T. palmi*	Chili pepper, tomato	Asia, China	Dong, 2008
Watermelon bud necrosis virus (WBNV)	*T. palmi*	Watermelon	India, Indonesia, Japan, Philippines, Thailand	Cannon *et al.*, 2007; Jain *et al.*, 2007; Mandal *et al.*, 2003; Singh & Krishnareddy, 1996
Watermelon silver mottle virus (WSMoV)	*T. palmi*	Watermelon	Indonesia, Japan, Taiwan	Kameya-Iwaki *et al.*, 1988; Jain *et al*, 1998
Zucchini lethal chlorosis virus (ZLCV)	*F. zucchini*	Cucumber	Brazil, USA	Tatsuya Nagata, *et al.* 2007

表二、台灣傳播番茄斑萎凋屬病毒之薊馬種類及其傳播之病毒

Thrips vectors	Tospoviruses[z]
Frankliniella intonsa	*Groundnut ringspot virus* (GRSV)* *Impatiens necrotic spot virus* (INSV)* *Tomato chlorotic spot virus* (TCSV)* *Tomato spotted wilt virus* (TSWV)
Frankliniella schultzei	*Chrysanthemum stem necrosis virus* (CSNV)* *Groundnut bud necrosis virus* (GBNV)* *Groundnut ringspot virus* (GRSV)* *Impatiens necrotic spot virus* (INSV)* *Tomato chlorotic spot virus* (TCSV)* *Tomato spotted wilt virus* (TSWV)
Frankliniella cephalica	*Tomato spotted wilt virus* (TSWV)
Scirtothrips dorsalis	*Groundnut bud necrosis virus* (GBNV)* *Peanut chlorotic fan-spot virus* (PCFV) *Polygonum ringspot virus* (PoRSV)*
Thrips palmi	*Capsicum chlorosis virus* (CaCV) *Calla lily chlorotic spot virus* (CCSV) *Melon yellow spot virus* (MYSV) *Watermelon silver mottle virus* (WSMoV)
Thrips tabaci	*Iris yellow spot virus* (IYSV)* *Tomato spotted wilt virus* (TSWV) *Tomato yellow fruit ring virus* (TYFRV)

z：*表台灣無該病毒存在之紀錄

三十年來台灣瓜類病毒病害的流行趨勢演變

鄧汀欽[1,2]

[1] 行政院農業委員會農業試驗所植物病理組

[2] 通訊作者 e-mail: tcde@tari.gov.tw

摘 要

台灣瓜類栽培面積廣且週年都有生產，時空重疊或銜接的結果，使得瓜類病毒病流行不絕，爲生產體系中的限制因子。現有紀錄感染台灣瓜類的病毒有 16 種，包括蚜蟲傳播的：甜菜西方黃化病毒 (*Beet western yellows virus*, BWYV)、瓜類蚜媒黃化病毒 (*Cucurbit aphid-borne yellows virus*, CABYV)、胡瓜嵌紋病毒 (*Cucumber mosaic virus*, CMV)、甜瓜蚜媒黃化病毒 (*Melon aphid-borne yellows virus*, MABYV)、甜瓜脈綠嵌紋病毒 (Melon vein-banding mosaic virus, MVbMV)、木瓜輪點病毒 (*Papaya ringspot virus*, PRSV)、絲瓜蚜媒黃化病毒 (Suakwa aphid-borne yellows virus, SABYV)、矮南瓜黃化嵌紋病毒 (*Zucchini yellow mosaic virus*, ZYMV)；薊馬傳播的：海芋黃班病毒 (Calla lily chlorotic spot virus, CCSV)、甜瓜黃班病毒 (Melon yellow spot virus, MYSV)、番茄斑點萎凋病毒 (*Tomato spotted wilt virus*, TSWV)、西瓜銀斑紋病毒 (*Watermelon silver mottle virus*, WSMoV)；粉蝨傳播的：瓜類退綠黃化病毒 (*Cucurbit chlorotic yellows virus*, CCYV)、南瓜捲葉菲律賓病毒 (*Squash leaf curl Philippine virus*, SLCPHV)、番茄捲葉新德里病毒 (*Tomato leaf curl New Delhi virus*, ToLCNDV)，及種子傳播的：胡瓜綠斑嵌紋病毒 (*Cucumber green mottle mosaic virus*, CGMMV)。其中 CGMMV、CMV、MVbMV、MYSV、PRSV、ToLCNDV、及 ZYMV 還可經由病株汁液傳播。台灣自 1944 年農家便覽即有瓜類病毒病害記錄，到最近的報告數據顯示，蚜蟲媒介傳播的病毒一直都是瓜類作物上主要的流行病毒，包括 ZYMV、PRSV、及 CMV 以非永續性方式，CABYV 以永續性方式傳播。1990s 年代南黃薊馬 (*Thrips palmi*) 以永續型方式傳播的 tospoviruses 崛起，WSMoV 及 MYSV 陸續成爲主流病毒。銀葉粉蝨 (*Bemisia argentifolii*) 入侵立足台灣後，begomoviruses 靠其媒介傳播感染瓜類，其中 SLCPHV 爲 2008 年以來造成洋香瓜絕產的流行病毒。2009 年中爆發另一粉蝨傳播的病毒 CCYV，短期內台灣各種瓜類皆受其感染。但 2011 年初由於連續低溫，開春較晚，粉蝨蟲媒密度低，病毒病疫情得以稍緩。

關鍵詞：葫蘆科、流行、蚜蟲傳播、薊馬傳播、粉蝨傳播

前 言

台灣瓜類栽培面積廣且種類繁多，根據 2009 年農業統計年報，葫蘆科作物

中越瓜、胡瓜、冬瓜、苦瓜、西瓜、香瓜及洋香瓜等的生產面積共 22,984 公頃，此外尚有南瓜、絲瓜、稜角絲瓜及扁蒲等作物廣被栽培及少數蛇瓜或梨瓜等零星栽培而未列入統計。因爲瓜類週年都有栽種生產，時空重疊或互相銜接的結果，使得瓜類共通感染的各種病蟲害就跟隨作物生長而綿延不絕，當中又以病毒病害最嚴重，成爲瓜類作物生產體系中除不掉的限制因子。1999 年農業統計年報記載全國瓜類栽培面積達 38,854 公頃，近來瓜類生產基地卻逐年縮減，目前僅餘 10 年前的 6 成，尤以洋香瓜已不到原先的 1/2，雖然是栽培制度精緻化與設施化的結果使然，但是與病毒病的風險高、業者無病害管理對策及農民栽種意願低落等因素有關。

在自然環境下可感染瓜類作物的病毒種類超過 50 種，台灣現有紀錄感染瓜類的病毒有 16 種 (圖1)，包括蚜蟲傳播的：甜菜西方黃化病毒 (*Beet western yellows virus*, BWYV) (陳, 2003)、瓜類蚜媒黃化病毒 (*Cucurbit aphid-borne yellows virus*, CABYV) (Deng *et al.*, 1997)、胡瓜嵌紋病毒 (*Cucumber mosaic virus*, CMV) (鍾, 1972)、甜瓜蚜媒黃化病毒 (*Melon aphid-borne yellows virus*, MABYV) (Knierim *et al.*, 2010)、甜瓜脈綠嵌紋病毒 (Melon vein-banding mosaic virus, MVbMV) (Huang *et al.*, 1993)、木瓜輪點病毒 (*Papaya ringspot virus*, PRSV) (王等, 1978)、絲瓜蚜媒黃化病毒 (Suakwa aphid-borne yellows virus, SABYV) (Knierim *et al.*, 2010)、矮南瓜黃化嵌紋病毒 (*Zucchini yellow mosaic virus*, ZYMV) (許等, 1985)；薊馬傳播的：海芋黃斑病毒 (Calla lily chlorotic spot virus, CCSV) (Chen *et al.*, 2005)、甜瓜黃斑病毒 (Melon yellow spot virus, MYSV) (Chen *et al.*, 2008)、番茄斑點萎凋病毒 (*Tomato spotted wilt virus*, TSWV) (Yeh *et al.*, 1988)、西瓜銀斑紋病毒 (*Watermelon silver mottle virus*, WSMoV) (Yeh *et al.*, 1992)；粉蝨傳播的：瓜類退綠黃化病毒 (*Cucurbit chlorotic yellows virus*, CCYV) (曾等, 2009)、南瓜捲葉菲律賓病毒 (*Squash leaf curl Philippine virus*, SLCPHV) (廖等, 2005)、番茄捲葉新德里病毒 (*Tomato leaf curl New Delhi virus*, ToLCNDV) (Chien *et al.*, 2008)，及種子傳播的：胡瓜綠斑嵌紋病毒 (*Cucumber green mottle mosaic virus*, CGMMV) (王與陳, 1982)。其中 CGMMV、CMV、MVbMV、MYSV、PRSV、ToLCNDV、及 ZYMV 還可經由病株汁液感染瓜類植株。這些病毒在各種不同的瓜類作物上所發生的情形各有所異，且田間複合感染很普遍，造成植株不同程度的病徵，輕者僅葉片出現嵌紋或黃斑，植株生育減緩，重者葉片及果實畸型，頂芽壞疽，植株生長停止、全株黃化或提早死藤，影響瓜果品質及產量，且一旦罹患病毒病，植株即無藥劑可以治癒。多年來由於瓜類栽培的生態環境與時推移，病毒病的流行趨勢也跟隨變遷，近年的演變更是越來越快，令防疫工作疲於奔命。此刻若田間監測技術及防疫策略無法與時俱進，瓜類病害管理將無所適從而任憑病毒肆虐。本文僅將台灣所發生的瓜類病毒病流行趨勢演變及歷年來前人研究的結果整理陳述，以便研擬實際的策略來對症下藥。

瓜類病毒病害的流行趨勢

一、1980 以前 (CMV 及 WMV)

1944 年台灣農家便覽記載瓜類的 9 種病害中即有瓜類嵌紋 (mosaic) 病，根據其病徵描述及蚜蟲傳播的特性，應是 CMV 在台灣的濫觴。當時除洋香瓜尚未引進外，農家種植的葫蘆科 (Cucurbitaceae) 作物已包括現有的各種瓜類。光復後瓜類栽培技術改進，國外優良品種源源引進，利之所趨使得瓜類栽培面積持續擴大，病毒病也隨之廣泛漫延。1959 年台灣西瓜重要病害調查結果如表 1 顯示：北中南各地西瓜田都有毒素病發生，尤其南部 (高屏) 春播西瓜有 29.3% 的發病率，惟當時並無法鑑定是何種病毒感染 (黃及簡, 1959)。1968 年吳與蘇報告台灣西瓜嵌紋病 (watermelon mosaic) 的研究，於是西瓜嵌紋病毒 (watermelon mosaic virus, WMV) 在 1970s 年代成爲台灣瓜類病毒研究的主流 (吳, 1969; 鄭, 1978; 李, 1981; Wu & Su, 1977)，以致 WMV 被看成當時最流行的瓜類病毒。但西瓜嵌紋病毒有 2 種: WMV-1 及 WMV-2，兩者血清關係及生物特性涇渭分明，不能混爲一談 (Webb & Scott, 1965)。1975 年台灣木瓜輪點病毒 (PRSV) 初起，王等發現木瓜上的 PRSV 可以感染葫蘆科瓜類 (王等, 1978)。1984 年 Yeh *et al.*,

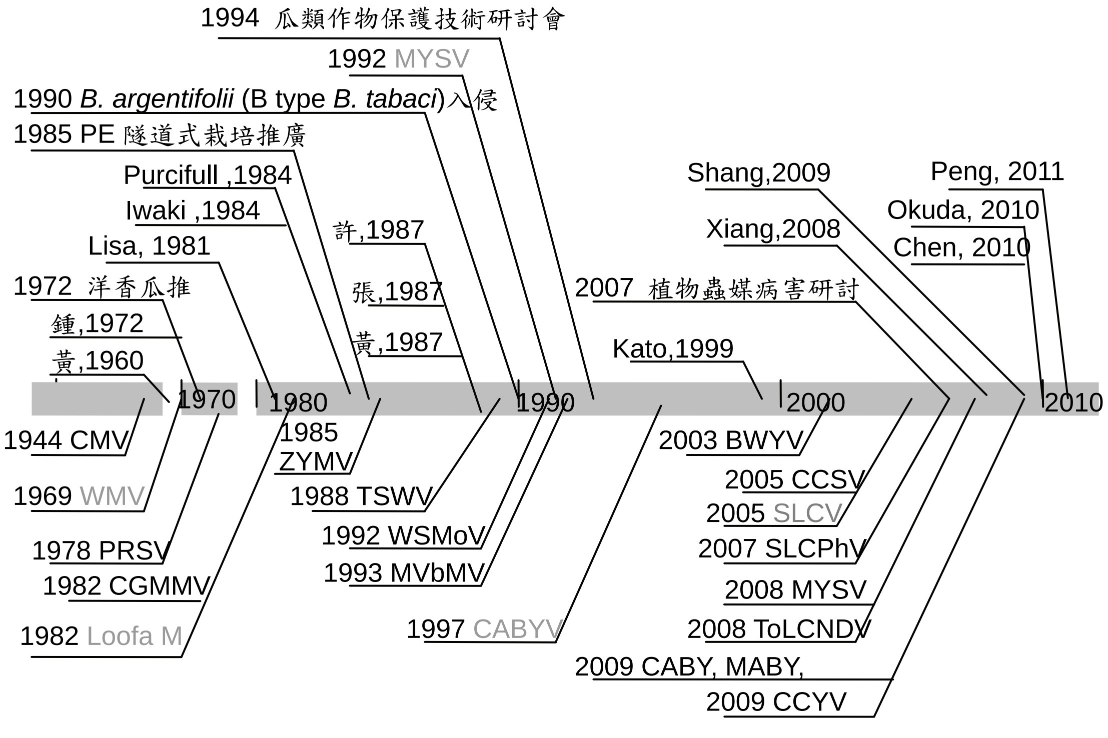


圖 1. 台灣瓜類病毒及相關事件發生的年表圖。

Fig. 1. Diagram of cucurbit-infecting viruses and events occurred in Taiwan in a chronological order.

發現 PRSV 與 WMV-1 有不可區分的血清學反應及相同的生物學特性，僅差別在 PRSV 可感染番木瓜科、葫蘆科及藜科；而 WMV-1 只能感染葫蘆科及藜科，不能感染番木瓜科。同年 WMV-1 被更名爲西瓜型木瓜輪點病毒 (type W isolate of PRSV, PRSV-W)，原來的 PRSV 爲木瓜型木瓜輪點病毒 (type P isolate of PRSV, PRSV-P) (Purcifull *et al.*, 1984a)，另外稱爲西瓜嵌紋病毒的只有 WMV-2 (Purcifull *et al.*, 1984b)。後來經核酸序列比對，更能確定上述的分類結果，惟當初國內病毒發生調查時依據血清反應認爲 WMV-2 也有相當比率發生於台灣 (許等, 1987; 張等, 1987; 彭等, 2006)，後來經核酸分析後卻否定的例子，推測 WMV-2 可能沒在台灣立足，目前 WMV 列爲檢疫監測項目 (鄭, 2008)。至於 PRSV-W 與 PRSV-P 有不可區分的血清學反應，而 PRSV-P 也會感染葫蘆科，因此調查報告中利用免疫酶聯反應 (ELISA) 所得 PRSV-W 的數據應屬 PRSV 全體。

二、1980s (Aphid-borne potyviruses)

1980s 年代的台灣，由於平面資訊的流通，病毒試驗設備與鑑定技術的改進，加上優質人力的投入，國內瓜類病毒的研究逐漸趕上國際水準，此時的研究工作已可和國際接軌，研究報告也廣被引用。1985 年許等發表矮南瓜黃化嵌紋病毒 (ZYMV) 之分離與鑑定報告，此病毒在義大利首先被發現命名 (Lisa *et al.*, 1981)，其後在法國、美國、黎巴嫩、日本、西班牙，德國，摩洛哥、以色列等地均相繼發現 (Lisa & Lecoq, 1984)。事實上台灣在 1982 年發表的絲瓜嵌紋病毒 (張及柯, 1982) 也是 ZYMV，是當時瓜類發生最普遍且最嚴重的病毒。另外胡瓜綠斑嵌紋病毒 (CGMMV) 也在 1982 年留下首發記錄 (王及陳, 1982, 1985)，雖然 CGMMV 從未對台灣瓜類造成明顯的病害災情，但是其經種子傳播的特性，是全球檢疫工作的重點。此時期從甜瓜分離出來一個生物性特異的 potyvirus 經鑑定發表爲甜瓜脈綠嵌紋病毒 (MVbMV) (Huang *et al.*, 1993)，但並無後續的研究報告。1987 年三篇瓜類病毒病發生調查報告 (許等, 1987; 張等, 1987; 黃等, 1987)，成爲往後病毒種類流行調查的模式，本文據以彙整分析流行趨勢，如表2 所示，1985-1986 年間胡瓜、絲瓜、苦瓜、冬瓜、南瓜、甜瓜及西瓜田間病毒發生率最高的都是 ZYMV，其次爲 WMV-1，唯有蒲瓜是 CGMMV 發生率最高。總共採集 2576 個有疑似病毒病徵的樣本，其中約 19% 的樣本是混合感染，也有約 35% 的樣本與所有供試抗體都無反應。無論如何，這些數據顯示 1980s 年代是 *Potyvirus* 流行的年代，這屬病毒靠蚜蟲以非永續性 (non-persistent) 方式傳播，台灣至少有 10 種蚜蟲可傳播 PRSV-W，6 種蚜蟲可傳播 ZYMV，其中以桃蚜 (*Myzus persicae* Sulzer) 及棉蚜 (*Aphis gossypii* Glover) 傳播兩種病毒的效率最高 (趙等, 1993)。Potyviruses 亦可藉由汁液傳播，因此田間農事操作時污染的工具或人爲的接觸，均能造成病毒的擴散傳播。

三、1990s (Thrips-borne tospoviruses)

Tospoviruses 的特性是靠薊馬傳播，在國外主要是西方花薊馬 (*Frankliniella*

occidentalis Pergande)，在台灣是由南黃薊馬 (*Thrips palmi* karny) 以永續型方式傳播，但僅在薊馬幼蟲期刺吸病株汁液才能獲毒，而帶毒蟲幼蟲及成蟲均有傳播病毒的能力。另外，部份種類病毒亦可藉由汁液傳播。在台灣有紀錄的共有 4 種全屬於 *Bunyaviridae* 科之 *Tospovirus* 屬。分述如下：

(一)番茄斑點萎凋病毒 (*Tomato spotted wilt virus*, TSWV)

TSWV 早在 1915 年即於澳洲被發現，造成番茄葉呈青銅化病徵。台灣則於 1988 年由溫室栽培之刺角瓜及田間西瓜上發現 (Yeh, 1988)，TSWV 引起台灣西瓜「翹尾」及「稍枯」現象，在台灣西瓜及甜瓜上發生普遍，極具危害力的病毒 (Chen *et al.*, 1990)。TSWV 爲 *Tospovirus* 屬的典型成員，在多種經濟作物上造成嚴重的病害至少有 50 科 500 種以上的作物可被感染，包含雙子葉及單子葉植物，如葫蘆科作物中的西瓜、胡瓜、刺角瓜等，茄科作物包括番茄、煙草、馬鈴薯及茄子等，豆科包括花生及豌豆等皆可被 TSWV 所爲害 (Kormelink, 2005)。但 1992 年 WSMoV 鑑定後，認爲台灣瓜類上原先發生的 tospovirus 都是 WSMoV。

(二)西瓜銀斑紋病毒 (*Watermelon silver mottle virus*, WSMoV)

日本於 1984 年時由 Iwaki 等在西瓜上發現另一種 tospovirus，造成西瓜葉肉內水層分隔致外觀形成銀色反光之病徵，同時葉片也呈嵌紋斑駁，因此稱之爲西瓜銀斑病 (Watermelon silver mottle)，病原的特性與 TSWV 類似，當初也認爲是 TSWV，但其血清特性異於 TSWV。台灣於 1992 年確定 WSMoV 的發生，罹病西瓜株葉片有銀斑病徵。西瓜以外，台灣種植之胡瓜、甜瓜及冬瓜均極易被 WSMoV 感染。靠薊馬及接觸傳染，在各種瓜類間交互感染且在栽培區迅速蔓延，是瓜類作物在 1990s 年代新興的流行病毒 (表3)。彭等自 2003 年 9 月至 2005 年 10 月在雲嘉南 30 鄉鎮瓜類栽培田採樣調查，結果如表4。

(三)海芋黃班病毒 (Calla lily chlorotic spot virus, CCSV)

病毒特性與 WSMoV 相似，非瓜類的主要病毒，但曾在台灣中部冬瓜偵測到 CCSV (Chen *et al.*, 2005)。

(四)甜瓜黃班病毒 (*Melon yellow spot virus*, MYSV)

MYSV 首發在日本，Kato *et al.* 於 2000 年發表並命名，病毒特性與 WSMoV 相似。2008 年在台灣首先被發現並鑑定的分離株是來自西瓜 (Chen *et al.*, 2008)，但是 2007-2009 年調查結果顯示西瓜感染 WSMoV 的比率仍比 MYSV 高。同樣 2007-2009 年間調查洋香瓜主要流行病毒卻是 MYSV (Peng *et al.*, 2011)。薊馬傳播之外，汁液也可傳播 MYSV 到瓜類上，且其血清學特性異於 WSMoV (Chen *et al.*, 2010)。2006/07 年台灣南部冬裏作洋香瓜遭受病毒病嚴重危害，受害面積超過 500 公頃，損失達二億五千萬元，MYSV 與 WSMoV 是主要的致病因子 (表4、表5、表6、表7)。2007/08 年防檢局以 tospoviruses 爲防治目標，經嚴密監控疫情，徹底清園，適時噴藥，全面防範，使病毒病疫情得以控制 (彭等, 2008)。Chao *et al.* 2010 報告 MYSV 在台灣胡瓜上的發生情形。

四、1990s (Aphid-borne poleroviruses)

1990s 年代在台灣崛起的另一屬病毒為 *Polerovirus*。此類病毒存在於植物韌皮部，被蚜蟲刺吸進入蟲體內，病毒可在蟲體內繁殖，因此帶病毒的蚜蟲可以終生傳播病毒，但無其他傳播方式。台灣瓜類作物上共有 4 種這類病毒，全都屬於 *Luteoviridae* 科之 *Polerovirus* 屬，分述如下：

(一)瓜類蚜媒黃化病毒 (*Cucurbit aphid-borne yellows virus*, CABYV)

1988 年法國首發，1992 年 Lecoq *et al.* 鑑定其致病因子是一種 luteovirus，並命名為 CABYV。台灣在 1997 年 5 月由 Lecoq 在七股鄉首次發現甜瓜感染 CABYV 的現象，後經病毒抗體測定，發現 CABYV 已普遍存在於台灣的各種瓜類上，尤其是在甜瓜及胡瓜造成下位葉黃化，植株提早老化 (Deng *et al.*, 1997)。因其病徵極易與生理失調及土壤病害混淆，且 CABYV 不經機械傳播，無法以一般接種試驗檢定，以致早期病毒發生調查時 CABYV 的偵測是一項盲點，1997 年以後的病毒發生調查才包括進去 (表4)。寄主包括一些藜科、菊科、十字花科、馬齒莧科植物，通常這些瓜類以外的雜草上所寄生的 CABYV 會經蚜蟲帶入新的瓜田內，感染栽種的植株而啓動整個病害流行。但是 CABYV 發病條件仍有限制，大都發生在熱帶或亞熱帶地區，或只在高溫季節發病。因 CABYV 在蚜蟲體內會進到腸道，但是並未在內繁殖，蟲媒方式屬於 circulative type (Brault *et al.*, 2007; Reinbold *et al.*, 2003)，因此其傳播效率有限，在台灣瓜類生長期的氣溫下降後，CABYV 的發生率即顯著減少。

(二)甜瓜蚜媒黃化病毒 (*Melon aphid-borne yellows virus*, MABYV)

MABYV 原來是 CABYV 的分離株，外表型差異不大，但核酸比對結果認定是獨立的一個種 (Xiang *et al.*, 2008)，在台灣西瓜、冬瓜及蒲瓜上有偵測到 (Knierim *et al.*, 2010)。

(三)絲瓜蚜媒黃化病毒 (Suakwa aphid-borne yellows virus, SABYV)

SABYV 原來也是 CABYV 的分離株，特性如同 CABYV，但核酸比對結果認定是獨立的一個種 (Shang *et al.*, 2009)，在台灣絲瓜及南瓜上有偵測到 (Knierim *et al.*, 2010)。

(四)甜菜西方黃化病毒 (*Beet western yellows virus*, BWYV)

2003 年檢測台灣西瓜、越瓜、胡瓜、南瓜、苦瓜、梨瓜、絲瓜等田間植株，都有發現 BWYV 感染的情形。其自然寄主植物達 150 種以上，田間雜草如山萵苣、黃鵪菜等都是 BWYV 的宿主。發生於葉菜作物甜菜、萵苣、蘿蔔和菠菜等，主要病徵為葉片黃化。在台灣 BWYV 不經汁液機械式傳播，可經由桃蚜、棉蚜、偽菜蚜、白尾紅蚜及無肘脈蚜等 5 種蚜蟲以永續方式傳播 (陳, 2003)。

五、2000s (whitefly-borne begomoviruses)

於 1990 入侵台灣，目前成為優勢種的銀葉粉蝨 (*Bemisia argentifolii* Bellows & Perring) (陳及張, 1997) 或菸草粉蝨 (*Bemisia tabaci* Gennadius) Q 型生物小種 (biotype) 是傳播 begomoviruses 的媒介 (Brown *et al.*, 1995)。在台灣感染瓜類的 begomoviruses 有 2 種，都屬於 *Geminiviridae* 科, *Begomovirus* 屬。分述如下：

(一)南瓜捲葉菲律賓病毒 (*Squash leaf curl Philippine virus*, SLCPHV)

2005 年從冬瓜分離的南瓜捲葉病毒 (SLCV) 爲 SLCPhV 在台灣的首發報告 (廖等, 2005)，隨後南瓜、洋香瓜等各種瓜類也可分離到 SLCPHV。感染 SLCPHV 使冬瓜植株葉部黃化、葉脈突起褪色、葉面皺縮、捲葉且生長勢減弱，若再加上其他病毒的協力作用，嚴重影響果實產量 (Liao *et al*., 2007)。洋香瓜感染 SLCPHV 後發生捲葉病，使罹病植株葉片皺縮及莖部節間縮短，提早開花並結沒有商品價值的小果，嚴重影響果農的收益。2008 年 9 月因連續颱風及進入栽培期後的暖冬少雨現象，粉蝨密度高，使 2008/09 期的洋香瓜遭受空前嚴重的病毒病爲害，主要是由 SLCPHV 引起的捲葉病，據調查二崙及崙背地區洋香瓜感染率約 4 成，粉蝨帶毒率約 50%; 台南將軍及安南等地感染率約 4-6 成，粉蝨帶毒率約 55%; 高雄岡山地區感染率約 6 成，粉蝨帶毒率約 45% (廖等, 2009) 。十二月在台南市安南區發現植株定植後第二片本葉即出現病徵，所採樣本中全數帶有 SLCPHV。其中‘秋華二號’和‘七股香’同樣罹病，發生地區遍及雲林、台南及高雄等地 (鄭等, 2009)。

(二)番茄捲葉新德里病毒 (*Tomato leaf curl New Delhi virus*, ToLCNDV)

2007 年於銀輝甜瓜園發現，並鑑定其與泰國危害胡瓜之 ToLCNDV 核酸序列相同度最高 (Chien *et al*., 2008)。ToLCNDV 具有 *Begomovirus* 所有的特性，但利用 ToLCNDV 之汁液機械接種，可感染東方型甜瓜、胡瓜、矮南瓜、越瓜、扁蒲、絲瓜、圓葉菸草及番茄，惟其田間發生的情形有待調查。

六、2009 (whitefly-borne crinivirus)

在台灣由粉蝨傳播感染瓜類的 crinivirus 只有 1 種即 CCYV，屬於 *Closteroviridae* 科, *Crinivirus* 屬。2004 年 CCYV 首先發生在日本 (Okuda *et al*., 2010)，台灣亦在 2009 年首次報告 (曾等, 2009)，隨後發現甜瓜、洋香瓜、胡瓜、西瓜、南瓜、扁蒲及佛手瓜等作物皆有 CCYV 感染 (彭等, 2010; Huang *et al*., 2010; Li *et al*., 2010)，一般瓜類生育中後期所發生植株全面黃化徵狀，也多爲 CCYV 所爲害。感染株病毒分佈局限於韌皮部，磨擦接種不能感染寄主。CCYV 經由粉蝨傳播接種，可以感染瓜類以外包括菊科、藜科、旋花科、豆科及茄科的植物 (Okuda *et al*., 2010)。CCYV 目前有發生紀錄的地區僅限於日本 (九州全部、本州關東部份地區及四國部份地區)、台灣 (部份地區) 和中國大陸 (上海、寧波及壽光)。比對分析 CCYV 的核苷酸序列，推論目前各地的 CCYV 都是同一來源 (日本九州熊本縣)。隨著粉蝨猖獗，2010 年 CCYV 及 SLCPHV 仍是瓜類的主要病毒，CCYV 甚至在宜蘭壯圍也有發現。但 2011 年初由於連續低溫，開春較晚，粉蝨等蟲媒密度低，病毒病疫情得以稍緩。

結 論

瓜類病毒病會受到關注，因其發生蔓延極爲快速，病發後疫情慘重。這些病毒病擴散流行的關鍵即在於昆蟲媒介傳播的效率。現有資料顯示：自有瓜類病毒記錄 (1944 年農家便覽) 到最新研究報告 (Peng *et al*., 2011) 的數據顯示，蚜蟲

媒介傳播的病毒就是瓜類作物上主要的流行病毒，包括 ZYMV、PRSV、CMV 以非永續性及 CABYV 以永續性方式傳播的病毒。因此在瓜類病毒病害發生嚴重的疫區，利用網室栽培隔絕有害動物入侵，即可節省殺蟲劑的施用，同時因保護的效果而提高果實質與量。但是 32 目防蟲網對薊馬無隔絕效果，致使薊馬傳播的 tospoviruses 無法防治，因此需結合其他防疫措施，才能控制病毒病害的發生 (鄧等, 2002)。

1972 年洋香瓜推廣栽培 (黃等, 1999)，1985 年推廣 PE 布隧道式栽培，瓜農採用後由於冬季保溫良好，可提高果實甜度，減少裂果，且提早收穫，獲利較高 (杜等, 1985)。而且隧道式栽培會抑制主要病蟲害 (露菌病、蔓枯病、毒素病、潛葉蠅等)，但促進白粉病及蚜蟲發生，整體節省病蟲害防治成本 41% (黃等, 1987)。由於隧道式栽培洋香瓜明顯的效益，農民紛紛投入，栽培面積大增。直到 2006/07 年遭受病毒病嚴重危害，薊馬傳播的 MYSV 與 WSMoV 爲主要元兇。2007/08 年疫區經徹底清園，面積超過 500 公頃，全面防範後使病毒病疫情得以控制 (彭等, 2008)。2008/09 期南部洋香瓜再度爆發嚴重的病毒病，此次鑑定結果主要是由 SLCPHV 所引起的捲葉病，據調查疫區的粉蝨半數帶有 SLCPHV (廖等, 2009)，這些帶毒蟲隨時隨地就可把 SLCPHV 傳播出去，造成捲葉病的流行，如今歷經三年狀況未曾減緩。由於 PE 布隧道式栽培仍是目前洋香瓜栽種的主要方式，而這種開放式的栽培制度並非爲防蟲目標而設計，雖然早期報告說它可減少毒素病的發生，但在寒冬季節，田裡的 PE 布隧道內無異是各種蟲類越冬的溫床，尤其是活動性強的粉蝨。因此彭等亦提出利用網室栽培來隔離粉蝨以防治捲葉病毒的策略 (彭等, 2009)，此一策略應用到 CCYV 的防治應該也有效。

瓜類病毒病早在 1944 年以前就已在臺灣發生，以毒素病或嵌紋病稱之，1980s 年代開始能夠鑑別病毒，然後被鑑定出來的就是一項新發現的病毒種。但是在 1985-1986 年間以病徵判斷是病毒病的 2576 個採集樣本中有 35% 是完全與所有供試抗體都無反應 (許等, 1987)，這其中除了無病毒的負反應外，必有部份是當時尚未能檢測出來的病毒種。1990s 年代病毒的分類愈趨細膩，抗體 (包括單株抗體) 製造及分生技術已趨成熟，國內植物病毒研究不但能與國際接軌，且在 tospoviruses 的領域還領先國際，屢見全球首發或分類標準報告。目前在台灣有 4 種 tospoviruses 感染瓜類，主要流行的是 WSMoV 及 MYSV。兩者中 MYSV 比 WSMoV 多了機械傳播的能力，分類特性也有所差異 (Chen *et al.*, 2010)，而且 MYSV 流行趨勢逐漸升高 (Peng *et al.*, 2011)，就值得特別關注。反觀蚜蟲傳播感染的 CABYV，被依核酸差異分成三個種 (CABYV, MABYV,及 SABYV) (Knierim *et al.*, 2010)，如此分類自有其分子生物學上的意義，但是除非有新的生態學證據，否則在植物病害管理的立場將其定位爲同一種爲宜，以免治絲益紛徒增困惱。當 2009 年捲葉病仍然嚴重之時，赫然發現 CCYV 已在雲嘉南各種瓜類上普遍發生，以往認爲缺鎂的黃化現象，可能是 CCYV 感染所致。由於銀葉粉蝨可以傳播這兩種病毒，因此只要阻隔了銀葉粉蝨就可防治三種瓜類上的主要病毒 (SLCPHV, ToLCNDV, 及 CCYV)，可謂是事半功倍的防治策略。

本文所列的 16 項病毒種都是已鑑定至種的階層且有公開報告的紀錄，此外

尚有鑑定中的瓜類病毒未收錄在內，手上收集的一些疑似病株的病原也亟待鑑定，因此台灣的瓜類病毒種類已超過 16 種，其流行趨勢值得進一步探討。

引用文獻

臺灣總督府農業試驗所。1944。うり(瓜)類の病害。臺灣農家便覽: 1075-1076。臺北市臺灣農友會發行。2280 pp。

王双明、陳脉紀。1982。從扁蒲分離之胡瓜綠斑嵌紋病毒。植保會刊 24: 279。

王双明、陳脉紀。1985。胡瓜綠斑嵌紋病毒之扁蒲新系統。植保會刊 27: 105-110。

李達人。1981。台灣西瓜嵌紋病病原分離純化與血清反應之研究。國立中興大學植物病理研究所碩士論文，台中市。

王惠亮、王金池、邱人彰、孫明賢。1978。台灣木瓜輪點病研究初報。植保會刊 20: 133-140。

杜金池、黃賢良、楊紹榮、程永雄、黃杉坻、陳榮五。1985。洋香瓜塑膠布隧道式栽培 73／74 年期示範效益評估。台南區農業改良場研究彙報 19: 13-22。

吳文希。1969。台灣西瓜嵌紋病的檢定及生態研究。國立台灣大學植物病蟲害研究所碩士論文，台北市，59 pp.。

吳文希、蘇鴻基。1968 。西瓜嵌紋病之研究。植保會刊 10: 79-80。

許秀惠、王惠亮、黃秋雄。1985。矮南瓜 (Zucchini) 黃化嵌紋病毒之分離與鑑定。中華農業研究 35: 87-95。

許秀惠、黃秋雄、張清安、楊偉正、張有明、蕭吉雄。1987。五種瓜類病毒在本省六種葫蘆科作物上之發生與分佈。植保會刊 29: 233-244。

張友朋、蕭吉雄、楊偉正、許秀惠、趙玉珍、黃秋雄。1987。五種瓜類病毒在台灣本省甜瓜及西瓜之發生與分佈。中華農業研究 36: 389-397。

張清安、柯南靖。1982。感染絲瓜之新病毒-絲瓜嵌紋病毒之鑑定。植保會刊 24: 281。

黃杉茋、程永雄、杜金池。1987。洋香瓜隧道式栽培對蟲害發生之影響。台南區農業改良場研究彙報 21: 25-32。

黃秋雄、趙玉珍、張清安、許秀惠、蕭吉雄。1987。本省絲瓜病毒種類之鑑定及其病徵比較。中華農業研究 36: 413-420。

黃賢良、鄭安秀、陳文雄。1999。隧道式洋香瓜栽培管理。台南區農業改良場技術專刊 88-6 (No.92) 26 pp.。

黃讚、簡和順。1960。西瓜重要病害調查。中華農業研究 9: 32-39。

陳文雄、張煥英。1997。銀葉粉蝨之生態與防治。台南區農業改良場技術專刊 86-1 (No.67) 6 pp.。

陳滄海。2003。台灣地區甜菜西方黃化病毒 (*Beet western yellows virus*) 之發生、鑑定及蚜媒傳播特性與生態。植病會刊 12: 43-56。

彭瑞菊、陳紹崇、吳雅芳、鄭安秀。2006。台南區瓜類病毒病害的種類及分佈。台南區農業專訊 55: 9-11。

彭瑞菊、鄭安秀、葉錫東。2008。2007年初台南地區洋香瓜病毒病害嚴重發生原因之探討。植病會刊 17: 86。

彭瑞菊、陳昇寬、胡仲祺、葉錫東。2009。利用簡易網室降低洋香瓜南瓜捲葉病毒病及罹病毒果實品質產量之評估。植保會刊 51: 130-131。

彭瑞菊、張淳淳、蔡翰沅、張雅玲。2010。認識瓜類作物新病毒-瓜類退綠黃化病毒。台南區農業專訊 73: 11-14。

曾獻嫺、陳宗祺、黃莉欣。2009。新興瓜類 Crinivirus 屬病毒之診斷與鑑定。植保會刊 51: 132。

趙佳鴻、陳慶忠、黃秋雄。1993。瓜類兩種屬馬鈴薯Y群病毒之傳播與生態學研究。第 391-403 頁。植物病毒與似病毒病害研討會專刊。

廖吉彥，鄧汀欽，蔡錦慧，林子凱，胡仲祺，鄭櫻慧，張清安。2005。從冬瓜分離的南瓜捲葉病毒之初步鑑定。植保會刊 47: 432-433。

廖吉彥、鄧汀欽、胡仲祺、鄭櫻慧。2009。2008 年南部地區洋香瓜捲葉病病害發生原因之探討。植病會刊 18: 77-78。

鄭德源。1978。綠皮香瓜嵌紋病原毒素之分離及其組織學上之研究。國立中興大學植物病理學研究所碩士論文，台中市。99 頁。

鄭櫻慧。2008。西瓜嵌紋病毒之偵察調查。行政院農委員會動植物防疫檢疫局, 35 pp。

鄭櫻慧、廖吉彥、鄧汀欽、蔡錦慧、胡仲祺。2009。南瓜捲葉菲律賓病毒在南部洋香瓜上的流行調查。植病會刊 18: 78。

鄧汀欽、蔡錦慧、楊偉正、余志儒、蕭吉雄。2002。利用網室栽培防治胡瓜病毒病害。農業試驗所技術服務季刊 51: 21-25。

鄧汀欽、廖吉彥，蔡錦慧，余志儒，蔣國司、賴信宏、林子凱，張清安，Lecoq, H.。2007。瓜類蚜媒黃化病毒在台灣之發生。第 163-183 頁。2007 植物蟲媒病害與防治研討會專刊。

鍾淑貞。1972。台灣胡瓜嵌紋病之研究。國立台灣大學植物病蟲害研究所碩士論文，台北市。

Brault, V., É. Herrbach, and C. Reinbold. 2007. Electron microscopy studies on luteovirid transmission by aphids. Micron 38: 302-312.

Brown, J. K., D. R. Frohlich, and R. C. Rosell. 1995. The sweetpotato or silverleaf whitefles: biotyoes of *Bemisia tabaci* or a species complex? Annu. Rev. Entomol. 40: 511-534.

Chao, C. H., T. C. Chen, Y. C. Kang, J. T. Li, L. H. Huang, and S. D. Yeh. 2010. Characterization of melon yellow spot virus infecting cucumber (*Cucumis sativus* L.) in Taiwan. Plant Pathol. Bull. 19: 41-52.

Chen, C. C., J. F. Shy, and S. D. Yeh. 1990. Thrips transmission of tomato spotted wilt virus from watermelon. Plant Prot. Bull. 32: 331-332.

Chen, C. C., T. C. Chen, Y. H. Lin, S. D. Yeh, and H. T. Hsu. 2005. A chlorotic spot disease on calla lilies (*Zantedeschia* Spp.) is caused by a tospovirus serologically but distantly related to *Watermelon silver mottle virus*. Plant Dis. 89: 440-445.

Chen, T. C., Y. Y. Lu, Y. H. Cheng, C. A. Chang, and S. D. Yeh. 2008. *Melon yellow spot virus* in watermelon a first record from Taiwan. Plant Pathol. 57: 765.

Chen, T. C., Y. Y. Lu, Y. H. Cheng, J. T. Li, Y. C. Yeh, Y. C. Kang, C, P. Chang, L. H.

Huang, J. C. Peng, and S. D. Yeh. 2010. Serological relationship between Melon yellow spot virus and *Watermelon silver mottle virus* and differential detection of the two viruses in cucurbits. Arch. Virol. 155: 1085-1095.

Chien, R. C., W. S. Tsai, S. K. Green, and F. J. Jan. 2008. Identification and characterization of a mechanically transmissible *Tomato leaf curl New Delhi virus* infecting oriental melon. Plant Pathol. Bull. 17: 84.

Deng, T. C., C. H. Tsai, Y. F. Chen, C. A. Chang, C. H. Hsiao, and H. Lecoq. 1997. First report of cucurbit aphid-borne yellows luteovirus in Taiwan. Plant Protect. Bull. 39: 395-396.

Huang, C. H., L. Chang, and J. H. Tsai. 1993. The partial characterization of melon vein-banding mosaic virus, a newly recognized virus infecting cucurbits in Taiwan. Plant Pathol. 42: 100-107.

Huang, L. H., H. H. Tseng, J. T. Li, and T. C. Chen. 2010. First report of cucurbit chlorotic yellows virus infecting cucurbits in Taiwan. Plant Dis. 94: 1168.

Iwaki, M., Y. Honda, K. Hanada, and H. Tochihara. 1984. Silver mottle disease of watermelon caused by tomato spotted wilt virus. Plant Dis. 68: 1006-1008.

Kato, K., K. Hanada, and M. Kameya-Iwaki. 2000. Melon yellow spot virus: a distinct species of the genus *Tospovirus* isolated from melon. Phytopathology 90: 422-426.

Knierim, D., T. C. Deng, W. S. Tsai, S. K. Green, and L. Kenyon. 2010. Molecular identification of three distinct *Polerovirus* species and a recombinant *Cucurbit aphid-borne yellows virus* strain infecting cucurbit crops in Taiwan. Plant Pathol. 59: 991-1002.

Kormelink, R. 2005. *Tomato spotted wilt virus*. AAB Description of Plant Virus. No. 412.

Lecoq, H., B. C. Wipe-Scheibel, M. Bon, H. Lot, O. Lemaire, and E. Herrbach. 1992. A new yellowing disease of cucurbits caused by a luteovirus, cucurbit aphid-borne yellows virus. Plant Pathol. 41: 749-761.

Li, J. T., Y. F. Cheng, L. H. Huang, H. H. Tseng, and T. C. Chen. 2010. Molecular characterization of a new crinivirus isolated from melon in Taiwan. Plant Pathol. Bull. 19: 113.

Liao, J. Y., C. C. Hu, T. K. Lin, C. A. Chang, and T. C. Deng. 2007. Identification of *Squash leaf curl Philippines virus* on *Benincasa hispida* in Taiwan. Plant Pathol. Bull. 16: 11-18.

Lisa, V., G. Boccardo, G. D’Agostino, G. Dellavalle, and M. d’Aquilio. 1981. Characterization of a potyvirus that causes zucchini yellow mosaic. Phytopathology 71: 667-672.

Lisa, V., and H. Lecoq. 1984. Zucchini yellow mosaic virus. CMI/AAB Description of Plant Virus. No. 292.

Okuda, M., S. Okazaki, S. Yamasaki, S. Okuda, and M. Sugiyama. 2010. Host range and complete genome sequence of Cucurbit chlorotic yellows virus, a new member of the genus *Crinivirus*. Phytopathology 100: 560-566.

Peng, J. C., S. D. Yeh, L. H. Huang, J. T. Li, Y. F. Cheng, and T. C. Chen. 2011. Emerging threat of thrips-borne Melon yellow spot virus on melon and watermelon in Taiwan. Eur. J. Plant Pathol. 130: 205-214.

Purcifull, D. E., J. R. Edwardson, E. Hiebert, and D. Gonaslves. 1984a. Papaya ringspot virus. CMI/AAB Description of Plant Virus. No. 292.

Purcifull, D. E., E. Hiebert, and J. R. Edwardson., 1984b. Watermelon mosic virus. CMI/AAB Description of Plant Virus. No. 293.

Reinbold, C., E. Herrbach, and V. Brault. 2003. Posterior midgut and hindgut are both sites of acquisition of *Cucurbit aphid-borne yellows virus* in *Myzus persicae* and *Aphis gossypii*. J. Gen. Virol. 84: 3473-3484.

Shang, Q. V., H. Y. Xiang, C. G. Han, D. W. Li, and J. L. Yu. 2009. Distribution and molecular diversity of three cucurbit-infecting poleroviruses in China. Virus Res. 145: 341-346.

Webb, R. E. and H. A. Scott. 1965. Isolation and identification of watermelon mosaic virus 1 and 2. Phytopathology 55: 895-900.

Wu, W. and H. Su. 1977. Watermelon mosaic virus in Taiwan. National Taiwan University Phytopathologist and Entomologist 5: 77-86.

Xiang, H. Y., Q. X. Shang, C. G. Han, D. W. Li, and J. L. Yu. 2008. Complete sequence analysis reveals two distinct poleroviruses infecting cucurbits in China. Arch. Virol. 153: 1155-1160.

Yeh, S. D., Y. H. Cheng, C. L. Jih, C. C. Chen, and M. J. Chen. 1988. Identification of tomato spotted wilt virus infecting horn melon and watermelon. Plant Prot. Bull. 30: 419-420.

Yeh, S. D., D. Gonsalves, and R. Provvidenti. 1984. Comparative studies on host range and serology of papaya ringspot virus and watermelon mosaic virus 1. Phytopathology 74: 1081-1085.

Yeh, S. D., Y. C.Lin, Y. H. Cheng, C. L. Jih, M. J.Chen, and C. C. Chen. 1992. Identification of tomato spotted wilt-like virus infecting watermelon in Taiwan. Plant Dis. 76: 835-840.

Evolutionary change of trends in prevalence of cucurbits-infecting viruses in Taiwan, 1981-2011

Ting-Chin Deng[1,2]

[1] Plant Pathology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, COA, Taichung, Taiwan, ROC
[2] Corresponding author, e-mail: tcde@tari.gov.tw

Abstract

Cucurbits are cultivated widely and annually in Taiwan and the growth periods or field spaces are always overlapped or linked up that give rise to prevalence of viral diseases. Incessantly prevailing virus infection is a restriction factor in the production of cucurbits. In Taiwan, cucurbits are infected by 16 species of viruses, including the aphid-transmitted viruses: *Beet western yellows virus* (BWYV), *Cucurbit aphid-borne yellows virus* (CABYV), *Cucumber mosaic virus* (CMV), *Melon aphid-borne yellows virus* (MABYV), Melon vein-banding mosaic virus (MVbMV), *Papaya ringspot virus* (PRSV), Suakwa aphid-borne yellows virus (SABYV), Zucchini yellow mosaic virus (ZYMV); the thrips-transmitted viruses: Calla lily chlorotic spot virus (CCSV), Melon yellow spot virus (MYSV), *Tomato spotted wilt virus* (TSWV), Watermelon silver mottle virus (WSMoV); the whitefly-transmitted viruses: *Cucurbit chlorotic yellows virus* (CCYV), *Squash leaf curl Philippine virus* (SLCPHV), *Tomato leaf curl New Delhi virus* (ToLCNDV), and the seed-transmitted *Cucumber green mottle mosaic virus* (CGMMV). Among them, CGMMV, CMV, MVbMV, MYSV, PRSV, ToLCNDV, and ZYMV can also be mechanically transmitted with diseased plant sap. Cucurbit virus occurred in Taiwan has been recorded since 1944, and the current data show that the aphid-transmitted viruses have been the most prevalent in cucurbits all the time. They are ZYMV, PRSV, and CMV which are transmitted by non-persistent manner and CABYV by persistent manner. Tospoviruses which are persistently transmitted by thrips (*Thrips palmi*) in Taiwan emerged in 1990s and ever since WSMoV and MYSV have become the major viruses successively. Begomoviruses were extensively spread after their vector the silver leaf whitefly (*Bemisia argentifolii*) invaded and established in Taiwan. Among the begomoviruses SLCPHV has become the major prevalent virus and has almost wiped out the muskmelon production since 2008. Another whitefly-transmitted virus is CCYV which broke out in 2009. All cucurbit cultivars in Taiwan were infected by CCYV in a very short period. However, due to the continuing low temperature, the relatively late start of spring, and the low whitefly population density at the beginning of 2011, the virus epidemic was slightly lessened.

Key words: Cucurbitaceae, Prevalence, Aphid-transmitted, Thrips-transmitted, Whitefly-transmitted

表 1. 1959 年台灣西瓜重要病害調查結果[1)]

Table 1. Disease incidence of watermelon occurred in Taiwan, 1959

	病害種類					
地區	炭疽病	白粉病	黑斑病	蔓割病	蔓枯病	毒素病
北部	87.2%	74.5%	60.0%	30.4%	23.0%	2.2%
中部(早植)	60.6%	11.3%	50.3%	31.9%	33.2%	0.9%
晚部(早植)	56.6%	10.6%	50.2%	13.2%	23.7%	0.8%
南部(春播)	72.9%	63.9%	5.3%	4.1%	14.5%	29.3%
南部(秋播)	100%	100%	97.0%	15.0%	100%	1.0%

1) 數據由黃及簡, 1959 的研究報告彙整而成。

表 2. 1985-1986 台灣瓜類病毒發生調查結果 [1)]

Table 2. Incidence of cucurbits-infecting viruses in Taiwan, 1985-1986

		病毒種類						
瓜	總數	ZYMV	WMV-1	CGMMV	N. R. [2)]	Complex	CMV[3)]	WMV-2[3)]
胡瓜	511	308 (60%)	164 (32%)	12 (2%)	147 (29%)	134 (26%)	17 (8%)	13 (6%)
絲瓜	298	234 (79%)	148 (50%)	4 (1%)	31 (10%)	121 (41%)	39 (17%)	0 (0%)
苦瓜	174	115 (66%)	115 (66%)	3 (2%)	31 (18%)	91 (52%)	3 (3%)	0 (0%)
冬瓜	178	67 (38%)	37 (21%)	2 (1%)	94 (53%)	18 (10%)	0 (0%)	0 (0%)
南瓜	132	64 (48%)	42 (32%)	0 (0%)	44 (33%)	23 (17%)	5 (5%)	0 (0%)
蒲瓜	200	10 (5%)	29 (15%)	102 (51%)	74 (37%)	16 (8%)	4 (3%)	0 (0%)
甜瓜	610	278 (46%)	68 (11%)	20 (3%)	203 (33%)	36 (6%)	78 (23%)	0 (0%)
西瓜	473	167 (35%)	75 (16%)	3 (1%)	268 (57%)	44 (9%)	3 (1%)	1 (0%)
總數	2576	1243 (48%)	678 (26%)	146 (6%)	892 (35%)	483 (19%)	149 (9%)	14 (1%)

1) 數據由許等, 1987 及張等, 1987 的研究報告彙整而成。

2) Negative reaction 陰性反應。

3) 只調查 1986 春作。

表 3. 1997-2006 台灣瓜類病毒發生調查結果

Table 3. Incidence of cucurbits-infecting viruses in Taiwan, 1997-2006

瓜類	採集點數	病毒種類 CABYV	CGMMV	CMV	PRSV	WSMoV	ZYMV	總數 Total
胡瓜	54	339 (22%)	19 (1%)	258 (16%)	231 (15%)	87 (6%)	329 (21%)	1566
甜瓜	37	107 (10%)	4 (0%)	68 (6%)	88 (8%)	68 (6%)	162 (15%)	1111
西瓜	23	36 (8%)	15 (3%)	9 (2%)	96 (22%)	95 (21%)	158 (36%)	444
絲瓜	25	8 (2%)	3 (1%)	102 (25%)	116 (28%)	12 (3%)	222 (53%)	415
苦瓜	8	7 (6%)	0 (0%)	20 (16%)	6 (5%)	0 (0%)	3 (2%)	124
冬瓜	63	226 (9%)	11 (0%)	162 (7%)	1079 (45%)	727 (30%)	593 (25%)	2399
南瓜	14	15 (14%)	2 (2%)	14 (13%)	36 (34%)	0 (0%)	39 (37%)	105
蒲瓜	12	0 (0%)	53 (65%)	9 (11%)	2 (2%)	6 (7%)	3 (4%)	82
總數	236	738 (12%)	107 (2%)	642 (10%)	1654 (26%)	995 (16%)	1509(24%)	6246

1) 數據由鄧等, 2007 的研究報告彙整而成。

表 4. 2003-2005 台灣瓜類病毒發生調查結果[1)]

Table 4. Incidence of cucurbits-infecting viruses in Taiwan, 2003-2005

瓜	總數	病毒種類 ZYMV	PRSV	CMV	WMV-2	WSMoV	CGMMV	SqMV
西瓜	730	207 (28%)	199 (27%)	463 (63%)	0 (0%)	114 (16%)	18 (3%)	11 (2%)
甜瓜	2188	1063 (49%)	699 (32%)	1335 (61%)	15 (1%)	376 (17%)	59 (3%)	18 (1%)
其他	764	158 (21%)	376 (49%)	581 (76%)	14 (2%)	49 (6%)	33 (4%)	2 (0%)
總數	3682	1428 (39%)	1274 (35%)	2379 (65%)	29 (1%)	539 (15%)	110 (3%)	52 (1%)

1) 數據由彭等, 2006 的報告彙整而成，採集地包括嘉義、台南、高雄、屏東。

表 5. 2008 年 1-6 月台灣中部瓜類病毒發生調查結果[1)]
Table 5. Incidence of cucurbits-infecting viruses in central Taiwan in 2008

		病毒種類		
瓜類	總數	WSMoV	MYSV	WSMoV+MYSV
西瓜	914	216 (23.6%)	134 (14.7%)	7 (0.8%)
甜瓜	937	2 (0.2%)	265 (28.3%)	0
冬瓜	499	65 (13%)	35 (7%)	0
總數	2350	283 (12%)	434 (19%)	7 (0.3%)

1) 根據Chen *et al.* 2010 的報告彙整而成，採集地包括台中、彰化、雲林。

表 6. 2007-2008 年台灣瓜類病毒發生調查結果 [1)]
Table 6. Incidence of cucurbits-infecting viruses in Taiwan, 2007 - 2008

		病毒種類		
瓜類	總數	WSMoV	MYSV	WSMoV+MYSV
西瓜	1811	4066 (22.4%)	166 (9.2%)	3 (0.17%)
甜瓜	10480	631 (6.0%)	1906 (18.2%)	17 (0.16%)
總數	12291	1037 (8.4%)	2072 (16.9%)	20 (0.16%)

[1)] 根據Pen *et al.* 2011 的報告彙整而成，採集地包括台中、彰化、雲林。

表 7. 2007-2008 年台灣瓜類病毒發生調查結果[1)]

Table 7. Incidence of cucurbits-infecting viruses in Taiwan, 2007-2008

		病毒種類								
瓜類	總數	ZYMV	PRSV-W	CMV	(3) mixed	WSMoV	MYSV	(2) mixed	(3) + WSMoV	(3) + MYSV
西瓜	877	221 (25%)	302 (34%)	150 (17%)	156 (18%)	193 (22%)	46 (5%)	3 (0.3%)	44 (5.0%)	4 (0.5%)
甜瓜	5327	1781 (33%)	1346 (25%)	1137 (21%)	764 (14%)	542 (10%)	1060 (20%)	13 (0.2%)	57 (11%)	163 (3.1%)
總數	6204	2002 (32%)	1648 (27%)	1287 (21%)	920 (15%)	735 (12%)	1106 (18%)	16 (0.3%)	101 (1.6%)	167 (2.7%)

[1)] 根據Pen *et al.* 2011 的報告彙整而成，採集地包括嘉義、台南、高雄、屏東。

小蠹蟲及其共生眞菌與植物病害之關係

陳啓予 [1]　李奇峰 [2,3]

[1] 國立中興大學植物病理學系
[2] 行政院農業委員會農業試驗所應用動物組
[3] 通訊作者 e-mail: chifeng@tari.gov.tw

摘 要

小蠹蟲身上通常攜帶著長喙殼菌類之眞菌，最著名的例子即爲造成重大經濟損失之荷蘭榆樹病菌。此眞菌與昆蟲間之關係被定義爲共生關係，其中眞菌藉由昆蟲之攜帶得以傳遞至新的植物寄主上而獲益，然而小蠹蟲在此相互關係上呈現多樣的結果，有些小蠹蟲是獲益的、有些並無可見之利益、有些反而是受到眞菌傷害的。在小蠹蟲獲益的關係上，一直皆認爲若小蠹蟲攜帶強致病力之眞菌，此眞菌可以消耗掉寄主植物之主防禦機制，爲小蠹蟲之侵入及殺害植物鋪路，然而此論點近來遭受許多質疑，因爲有時候小蠹蟲是可以不需要有眞菌伴隨，也可以侵入及殺死植物。由此可見，在小蠹蟲與眞菌之關係上仍有許多問題待釐清，不論如何，小蠹蟲爲許多具病原的長喙殼菌類眞菌之攜帶者，能夠釐清小蠹蟲及其共生菌之關係，將有助於防治此類植物病害之發生。

關鍵詞：小蠹蟲、長喙殼菌類眞菌、共生關係

前 言

小蠹蟲爲森林中最主要之害蟲，特別的是，小蠹蟲總是會攜帶特定的眞菌，而許多由其所攜帶之眞菌會造成樹木之萎凋，或造成邊材之變色，所以不論是小蠹蟲、或是其所攜帶之眞菌，在森林管理經營上皆爲爲重要之議題。小蠹蟲與其所攜帶之眞菌間之關係，以及其與樹木病害間之三角關係，一直皆受到關注，本文將介紹此類關係之主要觀點。

小蠹蟲之生活史及其對樹木之影響

小蠹蟲之定義及食性

樹皮小蠹蟲 (bark beetles，本文中皆稱之爲“小蠹蟲”) 分類上是隸屬鞘翅目 (Coleoptera) 象鼻蟲科 (Curculionidae) 的一個亞科 - 小蠹蟲亞科 (Scolytinae)，形態特徵爲具有膝狀及末三節成球桿狀之觸角，種類繁多，已知約有 5800 種 (Beaver & Liu, 2010)。此亞科包含有許多不同取食特性之種類 (Wood, 1982)，例如取食嫩枝髓部 (myelophagy) 之 *Pityophthorus* 屬、取食毬果 (spermophagy) 之 *Conophthorus* 屬、食菌 (xylomycetophagy) 且生長於木質部之 *Xyloborus* 屬 (此

類亦稱之爲 ambrosia beetles)、取食木質部 (xylophagy) 之 *Cryptocarenus* 屬、取食非木質化組織 (herbiphagy) 之少數種、及取食韌皮部 (phloeophagy) 之許許多多屬。以上不同的食性，在廣義的來說皆稱之爲 bark beetles，但一般 bark beetles 經常狹義上僅用來稱呼“食韌皮部”之小蠹蟲亞科昆蟲，本文章即沿用此狹義之定義，僅探討“食韌皮部”之小蠹蟲。由於此類昆蟲無法利用纖維素及木質素，所以就僅能依賴存在於樹皮內、且富含養份之韌皮部爲營養來源，所以僅能獨特的生長於樹皮內側 (inner bark)，而無法深入木材之木質部。

小蠹蟲之生活史

生活史可分爲四個階段：擴散期 (dispersal phase)、選擇期 (selection phase)、聚集期 (concentration phase)、建立期 (establishment phase)，其分別說明如下：

擴散期：指從在寄主植物成蟲羽化後，一直到對新寄主植物的引誘或同伴產生之聚集性費洛蒙有反應的這段時間。當小蠹蟲羽化後且生殖腺 (gonads) 達到成熟時，即會尋找新的寄主樹木作爲繁衍之場所。小蠹蟲羽化後擴散出去是受到“引誘物質”之吸引，引誘物之來源包括剛被砍伐之植物、衰弱之植物、受傷之植物、病原眞菌、及小蠹蟲費洛蒙等 (在底下“選擇期”中討論)，較特別的例子爲 *D. frontalis*，越冬後的成蟲不受引誘物吸引而做長距離的飛行擴散出去，之後才會受到寄主的引誘物質吸引，其飛翔到能量耗盡，才開始受到寄主吸引而降落、並產生聚集費洛蒙吸引同伴 (Gara & Coster, 1968)。許多種小蠹蟲不是在蛹室 (pupal chamber) 內性成熟，而是在飛出蛹室後，先尋找健康之嫩樹皮，在其上取食或休眠一段時間，然後才去尋找新的寄主樹木，有時候此“健康之嫩樹皮”並不是該小蠹蟲之眞正寄主，而會被誤認並紀錄爲寄主植物。如傳播荷蘭榆樹病菌 (*Ophiostoma ulmi*、*O. novo-ulmi*) 之 *Scolytus scolytus*、*S. multistriatus* 及傳播櫟樹萎凋病菌 (*Ceratocystis fagacearum*) 之 *Scolytus intricatus*，其羽化飛出之成蟲需先經過一段於樹冠之枝枒取食之熟成期。

選擇期：小蠹蟲之先驅個體 (original pioneer beetle) 會受到剛被砍下來之樹木所散發的揮發性物質所吸引 (如揮發性之油性樹脂 oleoresins、松油烴 terpene hydrocarbons、酒精等)，待此先驅個體鎖定並到達樹木寄主後 (有些種類之小蠹蟲其先驅個體爲雌蟲、有些爲雄蟲)，即可釋放聚集費洛蒙吸引同伴，而後來到達之小蠹蟲也會釋放費洛蒙來吸引更多個體。研究此類聚集費洛蒙的例子爲 *Gnathotrichus sulcatus* (Borden & Stokkink 1973) 及 *Scolytus quadrispinosus* (Goeden & Norris 1964)。衰弱的植物寄主亦會釋放誘引物質吸引小蠹蟲，如果衰弱的寄主所產生的引誘物質快速及多量，小蠹蟲便可直接大量聚集在寄主上，這意謂著可從擴散 (dispersal) 期直接到達聚集 (concentration) 期，而明顯降低小蠹蟲曝露在外之死亡率。當賦有侵略性 (aggressiveness) 之小蠹蟲攻擊活體植物時，會促使植物產生開洛蒙 (kairomones) 與小蠹蟲產生之聚集費洛蒙協力作用來吸引其小蠹蟲同伴，如龐德羅沙松受到 *Dendroctonus ponderosae* 攻擊受傷後會產生香葉烯 (myrcene)。有時病原眞菌亦會釋放引誘物質，如長喙殼菌類之病原眞菌 *Ophiostoma ulmi* 會在感染榆樹寄主時產生 α-華澄茄烯 (α-cubebene) 來吸

引小蠹蟲來聚集。

聚集期：小蠹蟲於樹木中取食或鑽洞後即能分泌費洛蒙，Pitman *et al.* (1965) 研究 *Ips paraconfusus* 費洛蒙釋放的機制及時間，發現其雄蟲鑽洞後之排泄物有些物質可吸引小蠹蟲同伴，且其吸引力可持續 24 小時；也就是說費洛蒙的釋放是與小蠹蟲持續性的在韌皮部取食及產生排泄物有關。然而一般聚集期持續一段時間後即會受到抑制，否則聚集過多之個體，會使食物過度利用、或是使食物惡化，將會增加死亡率增加及繁殖率降低。*Dendroctonus brevicormis* 小蠹蟲交配後兩性皆會產生“反聚集性” (antiaggregation) 費洛蒙 (Renwick & Vite, 1970) 馬鞭烯酮 (verbenone) 及反式馬鞭烯酮 (*trans*-verbenone)，如此可讓已到達樹上之小蠹蟲在樹上分散開來，以避免太過擁擠，而當族群密度飽和時，則會讓尚未到達之小蠹蟲轉向至附近的其它樹木。Rudinsky *et al.* (1976) 發現 *D. pseudotsugae* 雄蟲的鳴叫聲音會刺激雌蟲釋放“反聚集性” (antiaggregation) 費洛蒙，同樣地，雌蟲的鳴叫聲也會刺激雄蟲分泌另外一種反聚集性費洛蒙。

建立期：當到達新寄主樹木後，有些種類由雌蟲鑽入樹皮形成交尾室 (nuptial chamber)，雄蟲再進入配對；有些種類由雄蟲鑽入，再由雌蟲進入配對。小蠹蟲之雌蟲於樹皮內側與維管束間形成母食痕 (egg galleries) (Wood, 1982)，並在此食痕上產卵，不同種之小蠹蟲會有不同之特有母食痕。幼蟲孵化出來後，製造出幼蟲坑道 (larval mines)，幼蟲坑道之末端具有蛹室 (pupal chamber)，在其內羽化爲成蟲。小蠹蟲生活史的主要階段皆於樹皮內度過。

小蠹蟲造成之樹木危害

大部分的小蠹蟲種類有特定之植物寄主專一性，有些小蠹蟲爲賦侵略性 (aggressive) 的，可以攻擊健康之樹種，如 *Dendroctonus brevicornis*、*D. frontalis*、*D. ponderosae*、*Ips grandicollis*、*I. typographus*，大部分的種類會攻擊因旱災、火災或空氣污染等因素而弱化、或剛砍伐傾倒的樹木。小蠹蟲之族群密度與其攻擊樹木的能力息息相關，在族群密度低時，縱使是賦侵略性 (aggressive) 的種小蠹蟲也僅能侵襲衰弱的樹木，而無法危害健康之樹木；而活力越強的植物，需要越大量之小蠹蟲之攻擊才能克服植物之防禦機制 (Kirisits *et al.*, 2002)。侵略性之小蠹蟲在世界各地經常爆發大量樹木死亡之例子。所以避免在森林中累積“適合提高小蠹蟲族群密度”的因子，爲防止其危害的主要原則，能夠使小蠹蟲累積族群密度之因子包括：風災或疏、砍伐樹木後殘留在森林中之枝幹殘體，另外，乾旱或是火災或是植物疾病而使樹木衰弱，亦將促進樹木易遭受到小蠹蟲之侵襲，而乾旱是最主要在森林中爆發小蠹蟲危害之因素。

長喙殼菌類眞菌

此類眞菌爲了要適應昆蟲之傳播，演化出黏性之孢子，此孢子產生於產孢結構之頂端，便於被昆蟲黏附攜帶，有趣的是，爲配合昆蟲攜帶之時間，此孢子主要形成於蛹室內，以至於當小蠹蟲羽化出來時，在蛹室內的熟成階段 (此時已開始取食) 可以黏附孢子或吞食進孢子，之後才鑽破外側樹皮 (outer bark) 飛出，

並尋找下一個新的樹木進行繁衍。

定義

長喙殼菌類真菌 (ophiostomatoid fungi) 包含有性態 (teleomorph) 之 *Ophiostoma*、*Ceratocystiopsis*、*Grosmannia*、*Ceratocystis* 等屬、以及以上之無性態 (anamorph) 之 *Pesotum*、*Leptographium*、*Sporothrix*、*Thielaviopsis* 等屬。因爲其有性態具有相似之特徵，如具長喙之子囊殼、子囊壁成熟後溶解、子囊孢子單細胞且透明無色並具黏性之外鞘，以及相似之生態特性，所以此類群菌概稱爲長喙殼菌類真菌 (以其中長喙殼菌屬 *Ophiostoma* 爲名)，然而在分類上確是有差異的，*Ophiostoma*、*Ceratocystiopsis* 及 *Grosmannia* 屬於長喙殼菌目 (*Ophiostomatales*)，*Ceratocystis* 屬於小囊菌目 (*Microascales*) (Upadhyay, 1981；Wingfield *et al.*, 1993)。而有性態 (teleomorph) 之各個屬皆可對應其特有之無性態 (anamorph) 屬。

Ophiostoma、*Ceratocystiopsis*、*Grosmannia* 及其無性態

此類之長喙殼菌類真菌及其無性態主要分布在溫帶地區，所以在台灣主要在海拔 1000 m 以上，生長於木本植物之邊材上。此三屬之子囊簇生於子囊殼內之基部，個別最主要之差異在於其所對應的無性態 (Zipfel *et al.*, 2006)，*Ophiostoma* 同時具有 *Pseotum* 及 *Sporothrix* 或僅具有 *Hyalorhinocladiella* 之無性態、*Ceratocystiopsis* 具有鐮刀形之子囊孢子及 *Sporothrix* 或 *Hyalorhinocladiella* 之無性態、*Grosmannia* 具有 *Leptographium* 之無性態。其無性態之特徵描述如下。

Leptographium：此屬之特徵是具有黑色的長分生孢子梗，掃帚狀分支，末端呈環狀產孢 (annellidic proliferation)，分生孢子爲單細胞，透明，常會在分生孢子梗的頂端聚集呈現水滴狀。大多數的種類都只在針葉樹上被發現，少數在闊葉樹上 (Grief *et al.*, 2006)。

Pesotum：此屬之特性是具有分生孢子束 (synnema)，產孢方式爲交錯型式 (sympodial)，分生孢子束頂端之分生孢子聚積成水滴狀。

Sporothrix：此屬之特徵呈交錯型式 (sympodial) 之產孢方式，產孢點有小齒狀突起 (denticulate)，每一個齒狀突起處只產生一個分生孢子，並在其上留下截面痕跡 (Aghayeva *et al.*, 2004)，而每個孢子會以出芽型式產生另一個孢子。

Hyalorhinocladiella：此屬之特徵爲分生孢子梗與營養菌絲之形態相似，其產孢細胞類似 *Sporothrix* 屬，但缺乏明顯齒狀突起 (Aghayeva *et al.*, 2004)。

Ceratocystis 及其無性態 *Thielaviopsis*

熱帶、亞熱帶、及溫帶皆有分佈，可感染木本及草本植物。子囊沿著子囊殼內壁著生，無性態之產孢方式爲具有長頜之瓶狀產孢 (phialidic)，孢子於瓶狀產孢細胞內形成，並逐一向上推擠成串生之孢子，某些種類同時具有異型孢子 (aleuriospore)。

長喙殼菌類眞菌對植物之影響

維管束萎凋

少數長喙殼菌類之眞菌會造成維管束萎凋 (vascular wilt) 之病害，皆爲嚴重之病原菌，此病原菌可進入樹木之輸導組織，阻塞水份之輸送，最著名的例子即爲荷蘭榆樹病菌 (*Ophiostoma ulmi*、*O. novo-ulmi*)，其他的病原包括 *Ceratocystis fagacearum*、*C. fimbriata* sensu lato、及 *Leptographium wageneri* 等。

藍染眞菌

許多種之長喙殼菌眞菌類眞菌可稱之爲藍染眞菌 (blue stain fungi)，因爲其深色之菌絲，會在寄主植物之邊材上造成藍、灰、甚至黑色之變化。其利用儲存於邊材射髓 (ray parenchyma) 中之營養，因爲不會分解纖維素、木質素、半纖維素，所以並不會破壞樹木之結構，從外觀上可以在樹木之邊材及樹皮部位觀察到藍染之現象。雖然大部分造成樹木藍染的長喙殼菌類眞菌並不會造成植物之病害，但少數亦會致病，造成維管束 (導管及假導管) 的阻塞 (Kirisits & Offenthaler, 2002) 甚至在高的接種濃度下，亦能造成樹皮壞疽、甚至樹木之死亡。此類病害屬於維管束變色 (vascular stain)，非維管束萎凋，此類病原即是指致病力強之長喙殼菌類眞菌，包括 *Ceratocystis polonica*、*C. laricicola*、*C. rufipenni*、*Leptographium wingfield*、*Ophiostoma minus* 等 (Kirisits *et al.*, 2002)。

長喙殼菌類眞菌的演替

對於造成藍染之長喙殼菌類眞菌主要爲弱病原菌、部份種類具有強的致病力、部份種類爲腐生菌，但縱使爲腐生菌，其屬於腐生基質上早期演替之菌種，對於死亡已久之樹木，其上原有之長喙殼菌類眞菌大多會被木材腐朽眞菌、或其他腐生眞菌所取代。對於侵染活體樹木之過程中，也會呈現演替之順序 (Solheim, 1992)，最初被小蠹蟲攜帶進入樹木時，由致病力強之菌種先在邊材上生長，當樹木逐漸衰弱時，也逐漸由致病力較弱之菌種所取代，直到樹木死亡，再被腐生種類或其他類之腐生眞菌所取代。所以雖然共生眞菌同時由小蠹蟲傳播進入樹木中，但會在不同的樹木衰弱階段生長。

小蠹蟲和眞菌之關係

我們可以發現小蠹蟲與其共生眞菌有一共同之特性，就是主要侵入活的、或是衰弱之植物上，只有少數利用已死亡 (但未腐爛) 之植物。小蠹蟲身上皆會繫帶許多不同種之眞菌，但是其所攜帶大部分眞菌種類並不具一致性 (偶然的攜帶)，只有當與特定的長喙殼菌類眞菌會一致性的連結時，才稱此類眞菌與小蠹蟲共生，而攜帶眞菌的方式主要爲蟲體外沾附或消化道內攜帶 (Furniss *et al.*, 1990; Paine *et al.*, 1997)，僅有少數是藉由特化之攜菌器 (mycangium) 攜帶 (Six, 2003)。而每一蠹蟲種類常會和二至三種以上之長喙殼菌類眞菌形成共生關係。對於同一種小蠹蟲寄主，其上的共生眞菌，隨著環境的變化會有不同的優勢種類 (例如兩種和 *Dendroctonus ponderosae* 共生之眞菌，一種在冬天優勢、另一種在夏

天優勢)；對於同一種小蠹蟲寄主，並非所有個體都會攜帶共生眞菌，有時攜帶率會極低。會殺死樹木之小蠹蟲，一般會具有一種強致病力之共生眞菌，所以一直被認爲此強致病力之眞菌是小蠹蟲能侵襲殺死樹木的必要條件 (Kirisits, 2007)。

互利共生、偏利共生、或其他關係？

一般認爲小蠹蟲與其攜帶之眞菌具有“共生” (symbiosis) 之關係，“共生” 就其最初之定義，意指不同的生物共同生存在一起，並不強調其關係爲利或弊。眞菌可以藉由小蠹蟲之傳播而獲得繁衍之好處，小蠹蟲將眞菌傳送到活體或剛死亡的植物，可讓眞菌早先一步纏據，避開和腐生眞菌的競爭。但小蠹蟲在此交互關係上的獲益就極不明確，長久以來皆認定具有病原性之共生眞菌可以幫助小蠹蟲消耗掉活體植物之防禦機制，而爲小蠹蟲之侵入樹木來鋪路，小蠹蟲藉此而受益。然而三個論述可以反駁此說法 (Six & Wingfield, 2010)，其一、可以造成樹木死亡之小蠹蟲，其族群中並非每一個體都會攜帶共生之眞菌，在縱使沒有攜帶具共生眞菌的情況下 (或有攜帶低致病力之眞菌)，小蠹蟲也能對樹木有致死能力，顯示植物的防禦機制在沒有眞菌存在下，也能被小蠹蟲克服，所以小蠹蟲是可以不需要眞菌來消耗防禦機制的。其二、如果共生眞菌確實能幫助小蠹蟲克服植物之防禦機制，在共生關係的演化上，必定趨向“大部分之小蠹蟲個體皆具有致病力之共生眞菌”，因爲那些不具有共生眞菌之小蠹蟲是無法在活體植物立足的；然事實卻不然，許多小蠹蟲與眞菌共生的關係上，僅有部分 (甚至少部份)

的小蠹蟲個體身上帶有致病力之眞菌，顯示出眞菌對小蠹蟲來說，並非必要的因子。其三、就眞菌致病的歷程而言，若眞菌是隨著小蠹蟲於繁殖鑽孔階段才進入植物，以眞菌生長緩慢之速度，根本來不及誘發植物之防禦能力來協助小蠹蟲之入侵植物；在這同時，若果眞有誘發植物之防禦反應，實際上是會將同時存在之小蠹蟲防禦在外的，反而不利於小蠹蟲。以上之論述即是反駁“共生眞菌作爲消耗樹木防禦機制來幫助小蠹蟲”說法的理論基礎。然而此說法亦不能一以概之，對於那些羽化飛出樹幹後需要有一段熟成取食期之小蠹蟲種類，在侵入樹幹繁殖前，其會暫時先棲息於樹梢幼嫩處 (Wood, 1982)，所以其所攜帶之菌種就明顯的有足夠的時間，先削弱植物之防禦能力，來爲後續小蠹蟲之鑽孔侵入鋪路。我們相信此類眞菌就有實際幫助昆蟲克服植物防禦機制之作用。然而大部分之小蠹蟲明顯的並沒有因其所攜帶之眞菌而獲得好處，所以可以推測眞菌是偶然的搭乘小蠹蟲之“便車”而傳播的。另外有一種關係，小蠹蟲反而會因爲其所攜帶之共生眞菌而有負面之影響，southern pine beetle (南方松甲蟲 *Dendroctonus frontalis*) 和 *Ophiostoma minus* 之關係即是如此，此眞菌若在樹木中生長量增加，就會使南方松甲蟲之族群受到威脅而降低。有些種類之小蠹蟲，雖然也同樣是生長於樹皮內側，但其身體構造上特化出儲菌器 (mycangium) 之攜菌構造 (Six, 2003)，對於此共生關係，小蠹蟲就絕對的 (obligate) 需依賴其所共生的眞菌才得以生存 (取食此眞菌，主要作爲必需營養的補充)，小蠹蟲即是明顯獲益的一方。

小蠹蟲族群之帶菌率

依小蠹蟲種類不同而有差異。有些種類族群中只有少數個體攜帶眞菌，如雖

然小蠹蟲 *Tomicus piniperda* 和眞菌 *Ophiostoma wingfieldii* 共生，但族群中只有少數個體會攜帶眞菌 (Solheim & Långstöm, 1991)。有些種類族群中多數之個體會攜帶眞菌，但不同之個體可能會攜帶不同之共生菌，因爲其共生菌的眞菌種類皆不只一種。

Ophiostoma、*Ceratocystiopsis*、*Grosmannia* 和小蠹蟲之關係

此類菌和小蠹蟲之共生關係緊密，也即是其傳播主要是依賴小蠹蟲。只有少數種類和小蠹蟲之共生關係較爲薄弱，而經常是由空氣、雨水、或其他昆蟲所攜帶 (Krokene & Solheim, 1996; Stauffer *et al.*, 2001)，如 *Ophiostoma piceae* 及 *O. piliferum*。在專一性方面，有些種類專一性強，由特定之小蠹蟲所攜帶；而大多數的種類專一性較低，同一種眞菌會由不同之小蠹蟲攜帶至不同之寄主上。

Ceratocystis 和小蠹蟲之關係

此類眞菌和小蠹蟲共生關係較不緊密，即經常都是藉由其他方式傳播，許多種類甚至不需昆蟲之媒介，且專一性低，但亦有少數種類具有高的專一性 (Harrington & Wingfield, 1998; Yamaoka *et al.*, 1998)。

結 論

關於小蠹蟲及其共生長喙殼菌類眞菌之研究一直爲世界各國森林經營中重要之一環，台灣亦有許多小蠹蟲種類之記載 (Beaver & Liu, 2010)，亦有少數長喙殼菌類眞菌之記錄 (Lee, *et al.*, 2009 a; 2009b; 2009c)，必然也潛藏危害森林之因子存在。2002 年台灣爆發之廣葉杉萎凋病也極可能與小蠹蟲及其共生菌相關，推測因爲廣葉杉之造林地許多已爲老齡植株，再加上乾旱，使廣葉杉變爲易被小蠹蟲攻擊之寄主對象，以及風災後置於林地中之植株殘體，將小蠹蟲密度累積至足以危害樹木，而在枯萎之植株上除可見小蠹蟲之食痕外，也皆能分離出 *Ophiostoma quercus* 之眞菌，雖然此菌主要爲弱病原之藍染眞菌，不曾有造成植物死亡之記載，但也不能排除在乾旱、高密度小蠹蟲、弱病原眞菌、及衰弱寄主共同協力作用下造成廣葉杉之危害，廣葉杉之大量枯萎現象將不會是單一事件，環境變遷、乾旱頻仍的情形下，或有外來小蠹蟲、及外來眞菌引入台灣後並遇到易感病之寄主，皆可能在森林中造成病害之大發生，能夠了解小蠹蟲以及其共生之長喙殼菌類眞菌，將有助於防範未然，或於問題發生時能及時採取正確之措施。

引用文獻

Aghayeve, D. N., M. J. Wingfield, Z. W. de Beer, and T. Kirisits. 2004. Two new *Ophiostoma* species with *Sporothrix* anamorphs from Austria and Azerbaijan. Mycologia. 96 (4): 866-878.

Beaver, R. A., and L. Y. Liu. 2010. An annotated synopsis of Taiwanese bark and ambrosia beetles, with new synonymy, new combinations and new records (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). Zootaxa 2602: 1-47.

Borden, J. H., E. Stokkink. 1973. Laboratory investigation of secondary attraction in

Gnathotrichus sulcatus. Can. J. Zool. 51: 469-473.

Furniss, M. M., H. Solheim, and E. Christiansen. 1990. Transmission of blue-stain fungi by *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytidae) in Norway spruce. Ann. of the Entomol. Soc. Am. 83: 712-716.

Gara, R. I., and J. E. Coster. 1968. Studies on the attack behavior of the southern pine beetle. III. Sequence of three infestation within stands. Contrib. Boyce Thompson inst. 24: 77-86.

Goeden, R. D., D. M. Jr. Norris. 1964. Attraction of *Scolytus quadrispinosus* to Carya spp. For oviposition. Ann. Entomol. Soc. Am. 57: 141-146.

Grief, M. D., C. F. C. Gibas, and R. S. Currah. 2006. *Leptographium piriforme* sp. nov., from a taxonomically diverse collection of arthropods collected in an aspen-dominated forest in western Canada. Mycologia. 98: 771-780.

Harrington, T.C., and M. J. Wingfield. 1998. The *Ceratocystis* species on conifers. Can. J. Bot. 76: 1446-57.

Kirisits, T. 2007. Fungal associates of European bark beetles with special emphasis on the ophiostomatoid fungi. In: Lieutier F., K. R. Day, A. Battisti, J. C. Grégoire and H. Evans (eds.), Bark and wood boring insects in living trees in Europe, A Synthesis, p. 181-235, Dordrecht.

Kirisits, T., and I. Offenthaler. 2002. Xylem sap flow of Norway spruce after inoculation with the blue-stain fungus *Ceratocystis polonica*. Plant Pathol. 51: 359-64.

Kirisits, T, M. J. Wingfield, and D. B. Chhetri. 2002. Studies on the association of blue-stain fungi associated with the Eastern Himalayan spruce bark beetle (*Ips schmutzenhoferi*) and with other bark beetles in Bhutan. Renewable Natural Resources Research Centre, Yusipang, Bhutan. Yusipang Report, YREP/2002/02

Krokene, P., and H. Solheim. 1996. Fungal associates of five bark beetles species colonizing Norway spruce. Canadian Journal of Forest Research 26: 2115-22.

Lee, H. Y, S. Y. Hsieh, and C. Y. Chen. 2009a. Newly recorded species of *Thielaviopsis* and *Chalara* in Taiwan. Fungal Science 24: 53-59.

Lee, H. Y., H. W. Kao, and C. Y. Chen. 2009b. Ophiostomatoid fungi from imported wood in Taiwan. Taiwania 54: 343-352

Lee, H. Y., H. W. Kao, and C. Y. Chen. 2009c. Two new records of *Leptographium* from Taiwan. Fungal Science 24: 15-21.

Paine, T. D., K. F. Raffa, and T. C. Harrington. 1997. Interactions among scolytid bark beetles, their associated fungi, and live host conifers. Annu. Rev. Entomol. 42: 179-206.

Pitman, G. B., R. A. Kliefoth, J. P. Vite. 1965. Studies of the pheromone of *Ips confusus* (LeConte). II. Further observations on the site of production. Contrib. Boyce Thompson Inst. 23: 13-17.

Renwick, J. A. A., and J. P. Vite. 1970. Systems of chemical communication in *Dendroctonus*. Contrib. Boyce Thompson Inst. 24: 283-292.

Rudinsky, J. A., L. C. Ryker, R. R. Michael, L. M. Libbey, M. E. Morgan. 1976. Sound production in Scolytidae: Female sonic stimulus of male pheromone release in two *Dendrocontus* beetles. J. Insect Physiol. 22: 1675-1681.

Six, D. L. 2003. Bark Beetle-Fungus Symbioses. In. Insect Symbiosis. Contemporary Topics in Entomology Series, K. Bourtzis, T.A. Miller (Eds.). Boca Raton, London, New York, Washington D.C.: CRC Press.

Six, D. L., and J. M. Wingfield. 2010. The role of phytopathogenicity in bark beetle-fungus symbioses: a challenge to the classic paradigm. Annu. Rev. Entomol. 56: 255-272.

Solheim, H. 1992. Fungal succession in sapwood of Norway spruce infested by the bark beetle *Ips typographus*. European Journal of Forest Pathology, 22, 136-48.

Solheim, H., And B. Långström. 1991. Blue-stain fungi associated with *Tomicus piniperda* in Sweden and preliminary observations on their pathogenicity. Annales des Sciences Forestieres 48: 149-56.

Stauffer, C., T. Kirisits, C. Nussbaumer, R. Pavlin, and M. J. Wingfield. 2001. Phylogenetic relationships between the European and Asian eight spined larch bark beetle populations (Coleoptera, Scolytidae) inferred from DNA sequences and fungal associates. Eur. J. Entomol. 98: 99-105.

Upadhyay, H. P. 1981. A monograph of *Ceratocystis* and *Ceratocystiopsis*. The University of Georgia Press, Athens, Georgia, USA.

Wingfield, M. J., K. A. Seifert, and J. F. Webber. 1993. *Ceratocystis* and *Ophiostoma* - Taxonomy, ecology and pathogenicity. St. Paul, Minnesota: American Phytopathological Society Press.

Wood, S. L. 1982. The bark and ambrosia beetles of North and Central America (Coleoptera: Scolytidae), a taxonomic monograph. Great Basin Naturalist Memoirs 6: 1-1359.

Yamaoka, Y., M. J. Wingfield, M. Ohsawa, and Y. Kuroda. 1998. Ophiostomatoid fungi associated with *Ips cembrae* in Japan and their pathogenicity to Japanese larch. Mycoscience 39: 267-378.

Zipfel, R. D., Z. W. de Beer, K. Jacobs, B. D. Wingfiel1, and M. J. Wingfield. 2006. Multi-gene phylogenies define *Ceratocystiopsis* and *Grosmannia* distinct from *Ophiostoma*. Studies in Mycology 55: 75-97.

Interactions between bark beetles and their associated fungi on the cause of plant diseases

Chi-Yu Chen[1] , Chi-Feng Lee[2,3]

[1] Assistant Professor, Department of Plant Pathology, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC.
[2] Distinguished Research Fellow, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.
[3] Corresponding author, e-mail: chifeng@tari.gov.tw

Abstract

Bark beetles are commonly associated with ophiostomatoid fungi. The devastating Dutch elm disease is the most notable example. The relationship between both partners is recognized as being symbiotic. Fungi benefit from this association to infect new host trees via bark beetles' delivery. However, to bark beetles this association can be beneficial, neutral, or detrimental. For the beneficial effect, fungi pave the way for the bark beetles to invade trees by overwhelming host tree defenses. This conception is being challenged due to the fact that some aggressive bark beetles can invade and kill trees without the virulent fungal companions. It suggests that there remain lots to be unveiled in their symbiotic relationships. Nevertheless, bark beetles are the carriers for many pathogenic ophiostomatoid fungi. Therefore clarification of the relationship between them will be valuable in the prevention and control of plant diseases caused by them.

Key words: Bark beetles, Ophiostomatoid fungi, Symiosis

傳播農作物病毒重要粉介殼蟲之防治策略

陳淑佩 [1,2]

[1] 行政院農業委員會農業試驗所應用動物組
[2] 通訊作者 e-mail: spchen@tari.gov.tw

摘 要

成功的農作物病害管理取決於對病害影響因素的了解及控制。粉介殼蟲 (半翅目：粉介殼蟲科) 已證實能傳播至少 10 種對作物產量及品質影響甚鉅的病毒，雖然上述害蟲屬於傳播效率較低的媒介昆蟲，但仍需要加以防治以降低病毒在田間的擴散，其防治策略包括：(1) 栽種無病毒之苗木 (2) 田間耕作管理 (3) 天敵的運用 (4) 螞蟻防治 (5) 去除代用寄主雜草 (6) 粉介殼蟲之監測工作 (7) 應用化學防治。

關鍵詞：粉介殼蟲、病毒傳播、防治

前 言

植物病毒 (plant virus) 危害植物之重要病原，目前已知植物病毒超過 1000 種，分屬於 78 屬 (genus) (陳, 2006)。一般而言，植物病毒因無其獨立代謝系統，故無法獨立生長和複製。除寄主植物外，絕對寄生之病毒須仰賴媒介者 (vector) 傳播，方能經常地從一植物傳播到另一植物。病毒以生物 (節足動物、昆蟲、蟎蜱、線蟲、眞菌等) 或機械、種子及人爲管理栽培行爲 (如摘心、整枝、嫁接) 等方法在自然界傳播擴散 (黃, 2010)。病毒的多種傳播方式中，以生物 (如節肢動物，線蟲及眞菌等) 爲病毒重要的傳播媒介，超過 70% 的病毒種類經由病媒 (大部分爲昆蟲) 所傳播 (Tsai *et al*., 2010)，而其中並以吸食植物汁液的昆蟲 (如半翅目 (Hemiptera) 頸吻亞目 (Auchenorrhyncha) 之葉蟬科 (Cicadellidae)、飛蝨科 (Delphacidae)；胸吻亞目 (Sternorrhyncha) 的常蚜科 (Aphididae)、粉介殼蟲科 (Pseudococcidae) 及粉蝨科 (Aleyroididae) 以及纓翅目 (Thysanoptera) 薊馬科 (Thripidae) 等) 爲主 (陳, 2006)。已知超過 380 種 (分屬於 27 屬) 病毒由半翅目昆蟲傳播，而軟體介殼蟲科 (Coccidae) 及粉介殼蟲科的傳播病毒例子較少，約 10 種病毒由 19 種上述害蟲傳播 (Nault, 1997)，本文就以粉介殼蟲之經濟重要性、生態習性及其防治策略來述明如何控制病毒的擴散，以降低此類害蟲之危害潛力。

粉介殼蟲科 (Pseudococcidae) 之經濟重要性

粉介殼蟲 (mealybug) 屬於半翅目、胸喙亞目、介殼蟲總科 (Coccoidea) 之粉介殼蟲科 (Pseudococcidae)，目前全世界已記錄 2285 種 (Ben-Dov & Miller,

2010)。此類害蟲雌雄顯著異型，若蟲及雌成蟲具足，能活動，雄成蟲具翅一對有飛行能力。頭、胸、腹部通常癒合，體被白色蠟質分泌物。雌蟲的發育歷經 3 齡或更多齡，雄蟲 4 或 5 齡。雌蟲爲漸進變態，雄蟲爲具前蛹期和蛹期之完全變態。營兩性生殖或孤雌生殖，卵生或胎生。一年多個世代，有些種類具寄主專一性，但多數種類則取食多種植物，其雌成蟲及其若蟲期，雄蟲 1、2 齡若蟲以刺吸式口器刺吸寄主植物組織內 (如篩管、頂芽、嫩梢、葉及幼果等) 汁液，屬於韌皮部取食者 (phloem feeders) (陳等, 2003)。且能寄生在根部、葉鞘下及土壤中的生態習性及某些種類成爲病毒的傳播者之特性，使粉介殼蟲爲重要的農林害蟲 (Hattingh, 1993; Hattingh *et al*., 1998)，特別是爲害多年生植物，包括果樹、觀賞花木、行道樹、森林、栽種在溫室或室內的植物等。

此類害蟲皆爲植食性昆蟲，多種類爲農林作物、觀賞花木及溫網室作物的重要害蟲 (陳等, 2003)。其危害的方式包括 (1) 以刺吸式口器直接吸食植物之葉片、葉鞘、莖，甚至根部汁液，導致寄主植物組織萎凋與枯死；另外在吸食過程若排出蜜露引發煤煙病 (sooty mould)，干擾植物行光合作用，使生長不良、葉片掉落、果實糖分減少，並影響農產品觀瞻，降低商品價值，或因取食造成植物組織傷口，往往成爲病原菌侵入的途徑，引發其他病原菌的感染；(2) 某些粉介殼蟲在吸食寄主植物組織過程中時，因所注入的唾液含有毒質，刺激維管束組織增生變形，使葉片捲曲及黃化甚而葉片簇生，影響植物正常生長，其如桑粉介殼蟲 (*Maconellicoccus hirsutus* (Green)) 及木瓜秀粉介殼蟲 (*Paracoccus marginatus* Williams & Granara de Willink)；(3) 刺吸的過程中，藉由口針的刺吸，可將病毒傳播至其他植株，爲病毒之媒介者 (vector)。以葡萄主要的病毒病-葡萄捲葉病 (grapevine leafroll disease) 爲例，已廣佈於全世界並影響葡萄的品質及產量。而傳播 Grapevine leafroll-associated virus 1 (GLRaV-1), GLRaV-3, GLRaV-4, GLRaV-5 and GLRaV-9 型之病毒的傳播者已證實爲介殼蟲所引起 (Gugerli, 2003; Tsai *et al*., 2010)。

人爲耕作環境中，由於太多非自然因素干擾而導致粉介殼蟲之天敵種類和數量不多，介殼蟲族群密度在遭受生理逆壓 (高溫、植株罹病、缺水或養分) 的樹木上經常大發生，而更增此類害蟲經濟的重要性。

粉介殼蟲在病毒病害上所扮演的角色

能傳播病毒 (如蛇葡萄病毒屬 (*Ampelovirus*)) 的介殼蟲類，包括介殼蟲總科 (Coccoidea) 中的軟體介殼蟲科 (Coccidae) 及粉介殼蟲科 (Pseudococcidae)，但以粉介殼蟲科爲主要傳播病毒種類 (Engelbrecht & Kasdorf, 1990; Martelli *et al*., 2002; Sforza *et al*., 2003; Tsai *et al*., 2010)。目前全世界已記錄 2285 種粉介殼蟲 (Ben-Dov & Miller, 2010)，其中被報導有傳播 10 種植物病毒的能力之種類約 19 種 (Nault, 1997; Sforza *et al*., 2003)，由於其移動能力低，故被認爲爲傳播效率較低的媒介昆蟲 (陳, 2006)。

以長線型病毒科 (Closteroviridae) 之 *Closteroviruses* 及蛇葡萄病毒屬 (*Ampelovirus*) 等屬病毒爲例，可由多種粉介殼蟲在多種作物上傳播 (Martelli *et al*., 2002; Tsai *et al*., 2010)。其中蛇葡萄病毒屬僅感染雙子葉植物，且由介殼蟲科 (如

軟體介殼蟲科之 *Parthenolecanium, Pulvinaria, Neopulvinaria* 及粉介殼蟲科之嫡粉介殼蟲屬 (*Dysmicoccus*)、星粉介殼蟲屬 (*Heliococcus*)、綿粉介殼蟲屬 (*Phenacoccus*)、臀紋粉介殼蟲屬 (*Planococcus*)、長尾粉介殼蟲屬 (*Pseudococcus*) 和蔗粉介殼蟲屬 (*Saccararicoccus*) 以半持續 (semi-persistent) 方式傳播 (Nault, 1997; Martelli *et al*., 2002; Sforza *et al*., 2003)，此屬病毒皆不能利用汁液機械接種 (sap inoculation) 而傳播 (Martelli *et al*., 2002)。全世界重要的病媒介殼種類包含鳳梨嫡粉介殼蟲 (*D. brevipes* (Cockerell))、擬鳳梨嫡粉介殼蟲 (*D. neobrevipes* Beardsley)、柑橘臀紋粉介殼蟲 (*Planococcus citri* (Risso))、絲粉介殼蟲 (*Ferrisia virgata* (Cockerell))、長尾粉介殼蟲 (*Ps. longispenus* (Targioni-Tozzetti))、蔗糖粉介殼蟲 (*Saccararicoccus saccari* (Cockerell)) 及軟體介殼蟲科中的水木堅介殼蟲 (*Parthenolecanium corni* (Bouché)) 和 *Neopulvinaria innumerabilis* (Rathvon) (Cabaleiro & Segura, 1997; Martelli *et al*., 2002; Sforza *et al*., 2003) 。在臺灣目前報導可傳播植物病毒的粉介殼蟲種類有傳播鳳梨萎凋病 (mealybug wilt of pineapple (MWP)) 之鳳梨嫡粉介殼蟲 (陳, 2006；廖, 2008) 及葡萄捲葉病的長尾粉介殼蟲等 (楊等, 2004)。

實驗室內測試粉介殼蟲的病毒傳播至其他植株的時間通常是發生在 24 小時內，代表其獲毒吸食時間 (acquisition-feeding period) 在 1 天內 (Golino *et al*., 2002)。粉介殼蟲傳播病毒的方式包括半持續性及非持續性傳播 (non-persistent transmission) (陳, 2006; Ng & Falk, 2006)。半持續性傳播的特性爲病毒傳播在幾個小時內發生，傳播效率隨昆蟲取食時間的增加而增加，並且介殼蟲會在獲得病毒後的短時間內 (數小時至數日) 失去傳播病毒的能力 (如傳播葡萄捲葉病毒之柑橘臀紋粉介殼蟲，其保毒時間約 24 小時 (Cabaleiro & Segura, 2007))。半持續性傳播的病毒被認爲附著在媒介昆蟲的前腸幾丁質襯套 (表皮) (cuticular lining of the foregut)，若蟲一旦蛻皮就會失去獲得的病毒。各齡期之粉介殼蟲均可傳播病毒，若蟲之傳毒率隨齡期增加而減少，成蟲傳毒率比若蟲少。以傳播鳳梨萎凋病 (MWP) 的鳳梨嫡粉介殼蟲及擬鳳梨嫡粉介殼蟲爲例，其 2、3 齡蟲較 1 齡蟲或雌性成蟲獲毒效率高 (陳, 2006)。此外，以 *Pseudococcus njalensis* 傳播的胡瓜黄化斑點病毒 (cucumber chlorotic spot virus (CSSV)) 爲例，該蟲獲毒時間爲 20 分鐘；病毒在蟲體內保毒時間 ＜3 小時，無明顯潛伏期，病毒可能攜帶於口針部分。此種傳播模式類似蚜蟲的非持續性傳播 (陳, 2006)。因粉介殼蟲自行移動速度慢，需藉由外力協助 (如風力或螞蟻搬遷等)，所以粉介殼蟲傳播病毒之速度較其他傳播病毒的昆蟲慢，故粉介殼蟲雖被認爲爲傳播效率較低的媒介昆蟲，但對田間特定的病毒傳播仍具影響性，若能對此類害蟲進行蟲害防治必能減少病毒擴散。

防治病媒粉介殼蟲之策略

要防治粉介殼蟲所傳播病毒病，須由病媒-病毒-寄主植物三方面交互關係來探討。以葡萄捲葉病爲例，若田間原有 33% 病毒感病率，若放任蟲源而不處理的話，則在 5 年內則將大幅血至 83% 感病率 (Cabaleiro & Segura, 1997)，故更凸顯病媒粉介殼蟲防治的重要性。粉介殼蟲體型小，世代短及可行孤雌生殖，故

能在短期間害蟲族群大量增加。由於寄主植物多且易於植株隱蔽處 (如枝幹裂縫處或地表)，故一旦發現時，其害蟲族群已大量難以防治。且粉介殼蟲 (包括卵及若蟲) 易藉由風、水、土壤、植物、人、鳥及動物的攜帶被動的散佈 (passive dispersal)，故防治粉介殼蟲之的首要在於對栽培區之苗木確定有無蟲源存在，其次在於監測族群發生密度 (黃色黏蟲紙加性費洛蒙誘引物是最普遍的監測方式)，以作爲綜合防治 (如化學防治、物理防治、生物防治或耕作防治) 之參考依據。針對粉介殼蟲傳播之病毒危害，綜合多位學者的意見應包含消除田間感染源以及減少或避開病媒粉介殼蟲族群之防治策略如下：

1. 栽種無病毒之苗木爲首要工作，以避免田間之病源。以解決葡萄病毒罹病株爲例，以無毒化健康苗更新衰老園，配合田間管理作業上之衛生習慣，乃目前被認爲最有效之防治方法 (楊等, 2004)。此外，種植抗病植株或不吸引害蟲之植株亦是可進行的方式。
2. 田間管理：粉介殼蟲可存活於寄主植物之地上部組織，甚而在地下部的根系或土壤皆可見。故在田間需在採收後對於殘留的植株 (如斷根及廢耕之植株) 加以移除，以杜絕蟲體隱藏之環境。此外，在田間工作時，需小心蟲卵或若蟲會隨工作者之衣物或鞋子等從已感染之植株移行至未感染植株之風險。
3. 天敵的運用：捕食性天敵及寄生性天敵在田間害蟲族群量小時，可發揮抑制害蟲之功效。
4. 螞蟻防治：介殼蟲可分泌蜜露，因此常與螞蟻共生。因此此類害蟲時應同時防治螞蟻，以避免螞蟻將帶病毒之蟲體移至其他植株。此外，由於螞蟻與介殼蟲的共生關係中，亦對其天敵 (如捕食性及寄生性天敵) 進行防禦作用，故防治螞蟻亦可增加生物防治的功效。爲防止螞蟻在植株上爬行，可利用上樹幹防爬黏膠 (sticky trunk barriers)、化學藥物浸漬之阻隔物 (chemically impregnated trunk barrier) 或利用化學藥劑沿樹幹直接噴灑以降低螞蟻數量 (Ueckermann, 1998)。
5. 去除代用寄主雜草：栽培區周圍的雜草應加以去除，因爲粉介殼蟲食性雜，許多代用寄主雜草將可使此類害蟲在主要寄主植物尚未種植前可累積其害蟲族群量，此外，雜草有時亦成爲螞蟻棲所，故先前去除雜草，亦可有效降低粉介殼蟲族群。
6. 粉介殼蟲之監測工作：粉介殼蟲監測可對田間害蟲密度作預警之效果。除單獨定期懸掛黃色黏板偵測雄成蟲外，亦可同時利用性費洛蒙 (pheromone traps) 進行害蟲族群消長之調查。
7. 化學防治法:老熟之粉介殼蟲由於體背臘粉且棲息於植株的縫隙處，故導致田間藥劑防治時，往往因不易接觸蟲體而降低防治功效。適時在春季及秋季粉介殼蟲族群量開始增加時，對尚未著生成臘粉的若蟲進行藥劑防治，可增其防治效果。此外，可利用系統性藥劑或是展著性強的資材 (如夏油)，在不產生植株藥害情形下，亦可控制害蟲族群。以防治傳播 Little cherry virus 的粉介殼蟲爲例，果樹落葉期，可利用夏油等油劑噴灑以降低族群。長期作物於冬天整枝時期配合田間蟲害防治；短期作物注意夏天蟲害大發生前防治。春夏之際是幼齡之粉介殼蟲移行的主要時期，而在葉片上的之粉介殼蟲若蟲亦容易隨風而擴

散，故此時期需以化學防治降低害蟲族群。尚未著生成臘粉的若蟲較易被化學藥劑防治，若同時利用高壓噴鎗之噴藥器具，則更能達其功效。作物採收後亦可利用化學藥劑對植株進行蟲害防治工作，以防殘留之害蟲在植株縫隙或是地表附近繼續繁衍族群。

結 語

粉介殼蟲比粉蝨，蚜蟲、飛蝨或葉蟬類及薊馬昆蟲移動性低，爲傳播效率較低的媒介昆蟲 (陳, 2006)。目前粉介殼蟲及其蟲媒植物病毒間的交互作用之相關基礎研究仍不多見。但隨面臨全球暖化、栽培環境遭受生理逆壓 (罹病、缺水或養分)時，介殼蟲族群密度經常大發生 (陳等, 2003) 及此類害蟲若蟲期易隨外力 (風力，螞蟻，人爲農業操作等) 而移行，而日益嚴重危害植物及加劇病毒的傳播風險。故應致力著手有關傳播植物病毒之粉介殼蟲防治，以期確保植株栽種時期之健康。

引用文獻

楊佐琦、蕭芳蘭、莊佳茹。2004。台灣葡萄病毒病害之現況及防治。葡萄栽培技術研討會專集 95-113。

黃莉欣。2010。植物蟲媒病害及其蟲媒研究簡介。行政院農委會農業藥物毒物試驗所技術專刊 158: 1-11。

陳淑佩、翁振宇、吳文哲。2003。重要防疫檢疫介殼蟲類害蟲介紹。植物重要防疫檢疫害蟲診斷鑑定技術研習會專刊 (三): 1-63。行政院農業委員會動物物防疫檢疫局、國立中興大學昆蟲學系編印。

陳慶忠。2006。防疫檢疫重要植物病毒之媒介昆蟲與傳毒原理。植物重要防疫檢疫害蟲診斷鑑定研習會專刊 6: 21-72。

廖吉彥、胡仲祺、張清安、鄧汀欽。2008。台灣鳳梨介殼蟲萎凋-相關病毒-1 之初步鑑定。台灣農業研究 57: 1-14.

Ben-Dov, Y., and D. Miller. 2010. Pseudococcidae. Part of ScaleNet. 9 December 2010. http://www.sel.barc. usda.gov/scalenet/scalenet.htm

Cabaleiro, C,. and S. Segura 2007. Field transmission of grapevine leafroll associated virus 3 (GLRaV-3) by the mealybug *Planococcus citri*. Plant Disease. 81: 283-287.

Engelbrecht, D. J. , and G. G. F. Kasdorf. 1990. Transmission of grapevine leafroll disease and associated closteroviruses by the vine mealybug, *Planococcus ficus*. Phytophylactica 22: 341-346.

Golino, D. A., S. Susan, G. Raymond, and R. Adib. 2002.California mealybugs can spread grapevine leafroll disease. Calif. Agric. 56: 196-201.

Gugerli, P. 2003. Grapevine Leafroll and related viruses. Extended Abstracts 14th Meeting of the ICVG, September 12-17, 2003. Locorotondo (Bari), Italy, 25-31.

Hattingh, V. 1993. Mealybugs and cottony cushion scale on citrus in southern Africa. Citrus Journal 3: 20-22.

Hattingh, V., C. J. Cilliers, and E. C. G. Bedford. 1998.　Citrus mealybugs. pp. 112- 20. *in*: Citrus Pests in the Republic of South Africa. 2nd edn. (Bedford, E. C. G., M. A. van den Berg, and E. A. de Villiers, eds.) Nelspruit, Institute for Tropical and

Subtropical Crops.
Martelli (Chair), G. P., A. A. Agranovsky, M. Bar-Joseph, D. Boscia, T. Candresse, R. H. A. Coutts, V. V. Dolja, B. W. Falk, D. Gonsalves, W. Jelkmann, A.V. Karasev, A. Minafra, S. Namba, H. J. Vetten, G. C. Wisler, and N. Yoshikawa. 2002. The family C*losteroviridae* revised. Virology Division News: 2039-2044.
Nault, L. R. 1997. Arthropod transmission of plant virus: a new synthesis. Ann. Entomol. Soc. Am. 90: 521-541.
Ng, J. C. K., and B. W. Falk. 2006. Virus-vector interactions mediating nonpersistent and semipersistent transmission of plant viruses. Annu. Rev. Phytopathol. 44: 183-212.
Sforza R., E., Boudon-Padieu, and C. Greif. 2003. New mealybug species vectoring grapevine leafroll-associated viruses-1 and -3 (GLRaV-1 and -3). Eur. J. Plant Pathol. 109: 975-981.
Tsai, C. W., A. Rowhani, D. A. Golino, K. M. Daane, and R. P. P. Almeida. 2010. Mealybug transmission of grapevine leafroll viruses: Ananalysis of virus-vector specificity. Phytopathology 100: 830-834.
Ueckermann, P. 1998. Ant control in vineyards. Wynboer Tegnies 105: 8-9.

Strategies of control mealybugs as vector of important crop viruses

Shu-Pei Chen[1, 2]

[1] Applied Zoology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Taichung, Taiwan, ROC
[2] Corresponding author, e-mail: spchen@tari.gov.tw

Abstract

Successful disease management strategies necessitate a more thorough understanding of the factors that contribute to the development of plant disease epidemics. It is clear that some species of mealybugs (Hemiptera: Pseudococcidae) are capable of transmitting at least ten viruses which have caused considerable losses in crop yield and quality. Although documented cases of field transmission by the mealybugs are rare, it is essential to set up strategies for the control of mealybugs in order to minimize the secondary spread of the viruses by mealybugs. The strategies for mealybugs control include (1) planting healthy seedlings from virus-free nursery system; (2) field management; (3) use of natural enemies; (4) control of ants; (5) control of weeds; (6) monitoring of mealybugs population; and (7) chemical control.

Key words: Hemiptera, Pseudococcidae, virus, vector, control mealybugs.

傳播農作物病毒病重要蚜蟲之防治策略

蔡志偉 [1,2] 陳惟德 [1]

[1] 國立臺灣大學昆蟲學系
[2] 通訊作者 e-mail: chiwei@ntu.edu.tw

摘 要

作物在成長過程中經常受到植物病毒的侵害，在眾多的植物病毒中，約有 76% 的病毒種類藉由病媒生物所傳播。昆蟲爲重要的植物病毒媒介生物，其中蚜蟲更是具有舉足輕重的角色。蚜蟲大多以非持續性傳播模式 (nonpersistent transmission mode) 來媒介傳播植物病毒。蚜蟲之寄主植物選擇與取食行爲是蚜蟲媒介植物病毒流行病的重要因子，其寄主範圍 (host range) 及生活史爲決定植物病毒傳播率的關鍵。從傳播生物學的層面來看，要防治蚜蟲所傳播的病毒病，應從病媒－病毒－寄主植物三方面的交互關係著手。必須包含消除田間感染源以及減少或避開病媒蚜蟲族群兩大策略，如此才可以有效控制蚜蟲媒介病毒病害的流行。本文將介紹傳播植物病毒的蚜蟲之種類與生物特性，探討蚜蟲如何傳播植物病毒，最後提出病媒蚜蟲與蚜媒病毒病的防治策略。

關鍵詞：蚜蟲、蚜蟲媒介植物病毒、傳播生物學、整合性管理

前 言

作物在成長過程中經常受到植物病毒的侵害，常常使農民辛苦的收成遭受損失。 Hogenhout *et al.* (2008) 的綜合論述指出：在眾多的植物病毒中，約有 76% 的種類藉由病媒生物傳播。因爲病毒爲絕對寄生之微生物，又植物細胞具有堅韌的細胞壁，所以植物病毒更是依賴病媒傳播。植物病毒的媒介生物包含眞菌、線蟲、昆蟲與蟎類。此外，昆蟲也在其他植物病原的傳播上扮演重要的角色，例如植物菌質體 (phytoplasma) 與螺旋菌質體 (spiroplasma) 也是完全依靠昆蟲來傳播 (Weintraub & Beanland, 2006)。植物病毒的媒介昆蟲大多爲半翅目 (Hemiptera) 昆蟲，此類昆蟲具刺吸式口器，口針刺入植物細胞或維管束，所以最適合傳播寄生於植物細胞或維管束內的病毒。其中，蚜蟲是最重要的病媒昆蟲，佔所有媒介昆蟲種類的 55% (Ng & Falk, 2006)。根據統計，目前蚜蟲可傳播 697 種植物病毒中的 197 種，比例爲 28% (Hogenhout *et al.*, 2008)。近年來，由於全球貿易日增與航空運輸的推波助燃，使得植物病毒與其媒介昆蟲可以快速地傳播到世界各地。另外，全球暖化與水旱災頻繁，這是否會增加植物逆境與昆蟲生存優勢，進而促進病毒病害的傳播，也需要更進一步的研究證實 (Anderson *et al.*, 2004)。本文將介紹傳播植物病毒的蚜蟲之種類與生物特性，探討蚜蟲如何傳播植物病毒，最後提出病媒蚜蟲與蚜媒病毒病的防治策略。

傳播植物病毒的蚜蟲

全世界計有超過 4700 蚜蟲種類被描述，其中約有 190 種被報導具傳播植物病毒的能力 (Katis *et al.*, 2007)。媒介植物病毒的蚜蟲主要爲瘤蚜屬 (*Myzus*)、蚜蟲屬 (*Aphis*) 和毛莨蚜屬 (*Macrosiphum*) (Raccah *et al.*, 2001)。世界上重要的病媒蚜蟲種類包含桃蚜 (*M. persicae*)、棉蚜 (*A. gossypii*)、黑豆蚜 (*A. craccivora*) 和豇豆蚜 (*A. fabae*) (Raccah *et al.*, 2001)。在臺灣可傳播植物病毒的蚜蟲種類有桃蚜、棉蚜、黑豆蚜、小桔蚜 (*Toxoptera aurantii*)、桃粉蚜 (*Hyalopterus pruni*)、稻麥蚜 (*Rhopalosiphum padi*)、玉米蚜 (*R. maidis*)、無肘脈蚜 (*Hysteroneura setariae*) 和蕉蚜 (*Pentalonia nigronervosa*) 等 (陳, 2006)。

蚜蟲之寄主植物選擇與取食行爲是蟲媒植物病毒流行病的重要因子，另外蚜蟲寄主範圍 (host range) 及生活史爲決定植物病毒傳播率的關鍵。當飛行中的蚜蟲降落於植物葉片時，不管該植物是否爲寄主植物，蚜蟲均會先進行數次的試探性取食 (testing probe)。若爲非寄主植物，該蚜蟲會立即飛走，且降落於附近另一棵植物上；如果爲適當的寄主植物，該蚜蟲便靜下來進行長時間的取食 (prolong feeding)，將口針沿著細胞間隙刺入植物維管束內的韌皮部 (phloem) 取食植物汁液。現代大規模的農業耕作常常在同一時間、地點大量種植相同的作物，當非拓殖型蚜蟲 (non-colonizer) 於植株間試探取食，就會造成植物病毒的傳播 (Ng & Falk, 2006)。生活史方面，有翅型與無翅型蚜蟲的季節性轉換、長距離或短距離的飛行遷移以及主要寄主 (primary host) 與次要寄主 (secondary host) 的轉移都會影響到植物病毒病的田間傳播 (Raccah *et al.*, 2001)。

蚜蟲傳播之植物病毒

蚜蟲可傳播 70 個植物病毒屬中的 19 個屬，其中共有 197 種植物病毒皆利用蚜蟲作爲傳播媒介 (Katis *et al.*, 2007; Hogenhout *et al.*, 2008)。許多蚜蟲傳播的病毒病均會造成農作物收成上的重大損失，表一列舉出臺灣重要的蚜媒植物病毒。蚜蟲大多以非持續性傳播模式 (nonpersistent transmission mode) 傳播植物病毒，半持續性 (semipersistent) 與持續性 (persistent) 傳播模式僅佔相當小的比例。蚜蟲非持續性傳播的病毒包括 *Alfamovirus*、*Carlavirus*、*Cucumovirus*、*Potexvirus*、*Fabavirus*、*Macluravirus* 與 *Potyvirus* 屬病毒。半持續性傳播的病毒包括 *Badnavirus*、*Caulimovirus*、*Closterovirus*、*Sequivirus* 與 *Waikavirus* 屬病毒。持續性傳播的病毒又可依病毒有無在病媒蚜蟲體內複製增殖，區分爲循環型 (circulative) 與增殖型 (propagative)。持續性循環型的病毒包括 *Enamovirus*、*Luteovirus*、*Polerovirus*、*Umbravirus*、*Babuvirus*、*Nanovirus* 與 *Sobemovirus* 屬病毒；持續性增殖型的病毒包括 *Cytorhabdovirus* 與 *Nucleorhabdovirus* 屬病毒。有關各傳播模式的詳細資訊可參考陳慶忠博士於 2006 年之研討會論文 (陳, 2006) 或近年來在 Annual Review of Phytopathology 的綜合論述 (Ng & Falk, 2006; Hogenhout *et al.*, 2008)。

蚜蟲媒介非持續性傳播之病毒

絕大多數的蚜媒植物病毒 (大於 82%) 都屬此種傳播模式，並且以馬鈴薯 Y 病毒屬 (*Potyvirus*) 爲大宗 (Hogenhout *et al.*, 2008)。在臺灣目前危害嚴重的植物病毒均屬於此傳播模式，重要的種類包含有感染多種花卉、蔬菜與果樹之胡瓜嵌紋病毒 (*Cucumber mosaic virus*, CMV)、感染多種葫蘆科 (Cucurbitaceae) 作物之矮南瓜黃化嵌紋病毒 (*Zucchini yellow mosaic virus*, ZYMV)、爲害木瓜之木瓜輪點病毒 (*Papaya ringspot virus*, PRSV)、爲害馬鈴薯之馬鈴薯 Y 病毒 (*Potato virus* Y, PVY)。由於非持續性傳播的植物病毒對媒介昆蟲的專一性不若持續性傳播的病毒來得高，上述植物病毒可經由多種蚜蟲傳播，其中最重要的蚜蟲種類當爲桃蚜與棉蚜 (陳, 2006)。

蚜蟲傳播非持續性病毒僅需很短的獲得病毒及傳播病毒時間，通常爲數秒鐘至數分鐘。蚜蟲一旦獲得病毒，可以馬上傳播病毒，之間並沒有潛伏期 (latent period)。但是蚜蟲保留病毒的時間 (retentionn time) 很短，僅有數分鐘至數小時，蚜蟲將很快地失去傳播病毒的能力 (Watson & Robert, 1939; Ng & Falk, 2006)。另外蚜蟲一旦蛻皮，即喪失先前保有的病毒。

雖然非持續性傳播的病毒可以在蚜蟲獲得病毒之後，飛到另一株植物取食時立即接種病毒到另一株植物，但是此類病毒傳播並不是像某些動物病毒經由污染針頭般傳播那樣簡單。植物病毒附著於蚜蟲口針的機制分爲 capsid strategy 及 helper strategy，詳細的分子層級研究請參考 Prione & Perry (2002)。

蚜蟲媒介半持續性傳播之病毒

在臺灣以蚜蟲爲媒介的半持續性傳播之植物病毒非常少。在國外最著名的例子當爲長絲狀病毒屬 (*Closterovirus*) 的南美立枯病病毒 (*Citrus tristeza virus*, CTV)。根據黃 (1994) 報告指出 CTV 早已普遍感染臺灣的各種柑橘類果樹，而且大多數感染病毒的果樹都沒有明顯病徵。根據國外報導指出大桔蚜 (*T. citricida*) 及小桔蚜爲 CTV 的媒介昆蟲，其中以大桔蚜的傳播效率較高。據田間調查指出大桔蚜與小桔蚜爲台灣柑橘園中主要的蚜蟲種類，因此也可能爲 CTV 在臺灣的重要病媒蚜蟲 (黃, 1994; Yokomi *et al.*, 1994)。

蚜蟲傳播半持續性病毒需要數分鐘至數小時的獲得病毒與傳播病毒時間。在有效期間內，增加獲得病毒時間，可以增加蚜蟲傳播病毒的效率。半持續性與非持續性傳播模式的相同之處，在於獲得病毒到傳播病毒之間皆沒有潛伏期。半持續性病毒在蚜蟲體內的病毒保留時間較非持續性傳播模式長。蚜蟲一旦蛻皮，即喪失先前保有的病毒。蚜蟲獲得病毒後，馬上可以經由取食傳播病毒到另一株植物，其它有關半持續型傳播的分子層級研究請參考 Ng & Falk (2006)。

蚜蟲媒介持續性傳播之病毒

目前在臺灣以蚜蟲爲媒介的持續性傳播之植物病毒只有兩種，皆屬於持續性循環型傳播，分別爲香蕉萎縮病毒 (*Banana bunchy-top virus*, BBTV) 及瓜類蚜媒黃化病毒 (*Cucurbit aphid-borne yellows virus*, CABYV)。蕉蚜傳播的 BBTV 曾於

1892-1958 年間於中部香蕉種植區引發數度大流行，幾乎造成當時香蕉主要栽培品種滅絕。但此病的發生率於 1983 年後大爲降低，現已不是重要的香蕉病害 (曹, 1998)。桃蚜與棉蚜傳播的 CABYV，除了扁蒲之外，已普遍感染臺灣的各種瓜類作物，尤其在甜瓜及胡瓜感染率特別高 (鄧等, 2007; Lecoq *et al.*, 1992, 1999)。

BBTV 爲香蕉萎縮病毒屬 (*Babuvirus*) 病毒，CABYV 則爲馬鈴薯捲葉病毒屬 (*Polerovirus*) 病毒，此二病毒會感染病媒蚜蟲的組織與存在於血淋巴中，但不會於病媒蚜蟲體內複製 (Ng & Perry, 2004)。持續性傳播之植物病毒多侷限於植物韌皮部中，所以蚜蟲口針需要插入植物韌皮部才有機會獲得及傳播病毒。蚜蟲傳播持續性病毒的獲得與傳播病毒時間均比非持續性與半持續性傳播模式還長，通常需要數小時至數天才能獲得病毒或傳播病毒，這與蚜蟲口針必須刺吸到韌皮部才能吸食到植物汁液中的病毒顆粒有關。病毒在病媒蚜蟲體內移行至唾液腺，蚜蟲才有傳播病毒的能力，所以有數小時到數天的潛伏期。蚜蟲獲得病毒後，通常可以終生傳播病毒。在分子層級的傳播機制方面；病毒在蚜蟲體內需要突破腸道屏障、血淋巴屏障和唾腺屏障，病媒蚜蟲成功地傳播病毒也與病毒和寄主蛋白質相互作用有關 (Katis *et al.*, 2007)。

防治病媒蚜蟲與蚜媒病毒病之策略

要防治蚜蟲所傳播的病毒病，應從病媒－病毒－寄主植物三方面的交互關係來探討。選用抗病毒作物是一種有效的方法，特別是針對非持續性傳播的病毒，也可以消除田間病毒的來源 (Walker *et al.*, 1982)。利用傳統育種已成功培育出數種抗病毒作物 (Valkonen, 1994)，如果不考慮人們對基因改造作物的疑慮，殖入抗病基因之基因轉殖作物將是一種快速有效的防治方法。另外，也可以針對病媒蚜蟲栽培抗蚜蟲作物，或利用物理、化學方法阻隔蚜蟲傳播病毒的機會。目前已被商品化的基因轉殖抗病毒作物有抗 CTV 的柑橘、抗 PRSV 的木瓜、抗 ZYMV、CMV 與 PRSV 三種病毒的瓜類以及抗 PVY 和馬鈴薯捲葉病毒 (*Potato leafroll virus*) 的馬鈴薯 (Collinge *et al.*, 2010)。持續性傳播的病媒蚜蟲至少需要數小時的取食以獲得病毒，然後才能傳播病毒。化學殺蟲劑的施用可以殺死蚜蟲、抑制蚜蟲族群，進而抑制持續性傳播的病毒病害之流行。但是，非持續性傳播的病媒蚜蟲可在極短時間 (數秒) 內獲得與傳播病毒，所以即使以化學殺蟲劑殺蟲，病毒已經傳播完成，無法抑制病毒病害的流行。病毒病害的傳播也與蚜蟲的寄主選擇有關，例如持續性傳播之病毒大多爲拓殖型蚜蟲 (colonizer) 傳播，而非持續性或半持續性傳播之病毒除了可由拓殖型蚜蟲傳播外，非拓殖型蚜蟲更是病毒傳播的得力助手。既然非拓殖型蚜蟲是非持續性病毒的主要媒介，當然更難以利用防治蚜蟲來達成防治蚜媒病毒的目標。然而，配合帶病毒蚜蟲的族群調查與田間流行病監測，在預測發病高峰期配合施藥，仍然可以減低或延緩發病率。

針對蚜媒病毒病害之防治策略，應包含消除田間感染源以及減少或避開病媒蚜蟲族群兩類。下列數種方法宜配合使用 (張, 2007; Katis *et al.*, 2007; Wratten *et al.*, 2007)：

(1) 使用無毒種苗，以減少田間感染源。

(2) 拔除田間染病植物，使蚜蟲無法獲得病毒。
(3) 清除田間雜草使病毒及病媒蚜蟲無法立足。
(4) 種植抗病 (resistant) 或耐病 (tolerant) 作物。但以流行病學的角度來說，培育耐病作物有提供田間感染源的顧慮。
(5) 適當的栽植間隔，避免過度密集種植作物。
(6) 使用化學藥劑防治病媒蚜蟲族群。
(7) 使用礦物油防治病媒蚜蟲。本方法已被成功應用於高經濟價值鱗莖作物 (如百合) 及馬鈴薯，以防治多種非持續性傳播之病毒，但需要注意其藥害問題。
(8) 使用地面覆蓋物 (mulch)。地面覆蓋物尤其是顏色爲銀灰色或透明之反光布的反射光，會影響飛行中的有翅蚜蟲對寄主植物之定位。但此種方法僅能於作物生長初期奏效，隨時間增長蚜蟲數量依舊會增加。
(9) 使用作物表面覆蓋物 (row cover)。將重量很輕的 span-bonded polyester 或 polyethylene 作爲作物表面覆蓋物，使有翅型蚜蟲無法接近作物。隧道式栽培 (tunnel) 也是使用類似的原則。
(10) 建造網室等地面設施，使蚜蟲無法接近網室內作物。
(11) 栽植屏障作物。在容易受到蚜媒病毒感染的作物旁，種植蚜蟲的非寄主作物作爲屏障，讓蚜蟲將口針內的病毒先行釋放於非寄主作物，如此可以有效減緩非持續性傳播之病毒的傳播速度。例如在美國佛羅里達州就利用向日葵作爲屏障作物，保護甜椒免於受到 PVY 的爲害；在臺灣也曾經於木瓜旁種植高莖玉米以減緩 PRSV 的傳播速度。
(12) 改變種植或收穫季節，以避開病媒蚜蟲發生的高峰期，降低大規模流行病的可能性。

結 論

雖然在臺灣於各大專院校及政府研究單位內，研究植物病毒的研究人員眾多，但有關蟲媒植物病毒方面的研究大多僅侷限於病毒本身或病毒對寄主植物的影響，或是僅確定植物病毒的病媒昆蟲。對於病媒昆蟲與植物病毒間的交互作用以及病媒昆蟲的相關基礎研究目前仍不多見 (黃, 2010)。有關臺灣蚜媒病毒研究多集中於 PRSV，且大多針對植物病毒本身或抗病毒基因轉殖作物的相關研究。現在從事蟲媒植物病毒研究者多僅具有植物病理學的專業背景，但蟲媒植物病毒除了病毒本身，媒介昆蟲的傳播更是疾病發展的關鍵因子。期望不久的將來，能有更多具有昆蟲學專業背景的研究人員加入，增進跨領域之間的對談與合作，增加我們對病媒昆蟲在病毒病害流行扮演角色的瞭解，以祈能夠開發新穎的防治方法，有效抑制田間蟲媒植物病毒病害之流行。

引用文獻

張清安。2007。蚜蟲傳播病毒病之傳播生態與因應對策。農業世界 282: 10-18。
陳慶忠。2006。防疫檢疫重要植物病毒之媒介昆蟲與傳毒原理。植物重要防疫檢疫害蟲診斷鑑定研習會專刊 6: 21-72。

黃秋雄。1994。柑橘毒素病之研究。農業研究 21: 62-70。

黃莉欣。2010。植物蟲媒病害及其蟲媒研究簡介。行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所技術專刊 158: 1-11。

曹麗玉。1998。香蕉萎縮病系統之生物學與分子生物特性及其生態。國立臺灣大學植物病蟲害學系博士論文。132 pp。

鄧汀欽、廖吉彥、蔡錦慧、余志儒、蔣國司、賴信宏、林子凱、張清安、H. Lecoq。2007。瓜類蚜媒黃化病毒在臺灣之發生。p. 163-183。2007 植物蟲媒病害與防治研討會專刊。行政院農業委員會動植物防檢疫局、國立中興大學植物病理學系編印。278 pp。

Anderson, P. K., A. A. Cunningham, N. G. Patel, F. J. Morales, P. R. Epstein, and P. Daszak. 2004. Emerging infectious diseases of plants: pathogen pollution, climate change and agrotechnology drivers.Trends Ecol. Evol. 19: 535-544.

Collinge, D. B., H. J. L. Jørgensen, O. S. Lund, and M. F. Lyngkjær. 2010. Engineering pathogen resistance in crop plants: current trends and future prospects. Annu. Rev. Phytopathol. 48: 269-291.

Hogenhout, S. A., E. D. Ammar, A. E. Whitfield, and M. G. Redinbaugh. 2008. Insect vector interactions with persistently transmitted viruses. Annu. Rev. Phytopathol. 46: 327-359.

Katis, N. I., J. A. Tsipis, M. Stevens, and G. Powell. 2007. Transmission of plant viruses. p. 353 -389. *in*: Aphids as Crop Pests. (van Emden, H. F. and R. Harrington, eds.) CABI. Wallingford, United Kingdom. 752 pp.

Lecoq, H. 1999. Epidemiology of *Cucurbit aphid-borne yellows virus*. p. 243-248. *in*: The *Luteoviridae*. (Baker, H. and H. G. Smith, eds.) CABI. Wallingford, United Kingdom. 297 pp.

Lecoq, H., D. Bourdin, C. Wipf-Scheibel, M. Bon, H. Lot, O. Lemaire, and E. Herrbach. 1992. A new yellowing disease of cucurbits caused by a luteovirus, cucurbit aphid-borne yellows virus. Plant Pathol. 41: 749-761.

Ng, J. C. K., and B. W. Falk. 2006. Virus-vector interactions mediating nonpersistent and semipersistent transmission of plant viruses. Annu. Rev. Phytopathol. 44: 183-212.

Ng, J. C. K., and K. L. Perry. 2004. Transmission of plant virus by aphid vectors. Mol. Plant Pathol. 5: 505-511.

Pirone, T. P., and K. L. Perry. 2002. Aphids: non-persistent transmission. Adv. Bot. Res. 36: 1-19.

Raccah, B., H. Huet, and S. Blanc. 2001. Potyviruses. p. 181-206. *in*: Virus-Insect-Plant Interactions. (Harris, K. F., O. P. Smith, and J. E. Duffus, eds.) Academic Press. New York. 376 pp.

Valkonen, J. P. T. 1994. Natural genes and mechanisms for resistance to viruses in cultivated and wild potato species (*Solanum* spp.). Plant Breeding 112: 1-16.

Walker, D. G. A., J. A. Tomlinson, N. L. Innes, and D. A. C. Pink. 1982. Breeding for virus resistance in British vegetable crops. Acta. Hort. 127: 125-135.

Watson, M. A., and F. M. Roberts. 1939. A comparative study of the transmission of *Hyoscyamus* virus 3, potato virus Y and cucumber virus 1 by vectors *Myzus*

persicae (Sulz.), *M. circumflexus* (Buckton) and *Macrosiphum gei* (Koch). Proc. Roy. Soc. Ser. B. 127: 543-576.

Weintraub, P. G., and L. Beanland. 2006. Insect vectors of phytoplasmas. Annu. Rev. Entomol. 51: 91-111.

Wratten, S. D., G. M. Gurr, J. M. Tylianakis, and K. A. Robinson. 2007. Cultural control. p. 423-445. *in*: Aphids as Crop Pests. (van Emden, H. F. and R. Harrington, eds.) CABI. Wallingford, United Kingdom. 752 pp.

Yokomi, R. K., R. Lastra, M. B. Stoetzel, V. D. Damsteegt, R. F. Lee, S. M. Garnsey, T. R. Gottwald, M. A. Rocha-Pena, and C. L. Niblett. 1994. Establishment of the brown citrus aphid (Homoptera: Aphididae) in Central America and the Caribbean Basin and transmission of citrus tristeza virus. J. Econ. Entomol. 87: 1078-1085.

Control strategies of important aphids that transmit viral diseases of crops

Chi-Wei Tsai and Wei-Te Chen

[1] Department of Entomology, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, ROC
[2] Corresponding author, e-mail: chiwei@ntu.edu.tw

Abstract

Plant viruses often infest agricultural crops during the growth season. Among plant viruses, there are about 76% of virus species transmitted by various vectors. Insects are the important vectors of plant viruses, and among them aphids play an important role in virus transmission. Most aphids transmit plant viruses in a nonpersistent transmission mode. Host plant selection and feeding behavior of aphids are important factors affecting the epidemics of plant viral diseases. Also, host range and life history of aphids are keys to determine the transmission rate of plant virus. From the perspective of transmission biology, it is crucial to consider vector-virus-host plant interactions in order to control the aphid-borne viral diseases. Two control strategies are suggested to effectively control epidemics of aphid-borne viral diseases: (1) to eliminate the source of pathogens in the field and (2) to reduce or avoid the population of vector aphids. This paper describes species and biological characteristics of plant virus-transmitting aphids and its transmission mechanism. Finally, we suggest control strategies of aphid vectors and aphid-borne viral diseases.

Key words: aphids, aphid-borne plant viruses, transmission biology, integrated pest management

表 1. 臺灣重要的蚜蟲媒介病毒

Table 1. Important aphids-borne plant viruses in Taiwan

病毒名	病毒科別	蚜蟲傳播模式	寄主範圍
Cucumber mosaic virus	*Bromoviridae*	非持續性	花卉、蔬菜、果樹
Papaya ringspot virus W strain	*Potyviridae*	非持續性	葫蘆科作物
Papaya ringspot virus	*Potyviridae*	非持續性	木瓜
Potato virus Y	*Potyviridae*	非持續性	馬鈴薯、菸草、番茄等
Turnip mosaic virus	*Potyviridae*	非持續性	十字花科蔬菜
Zucchini yellow mosaic virus	*Potyviridae*	非持續性	葫蘆科作物
Banana bunchy-top virus	*Nanoviridae*	持續性	香蕉

銀葉粉蝨傳播蔬果雙生病毒及其防治研究

林鳳琪 [1,4] 張淑貞 [1] 鄭櫻慧 [2] 王清玲 [1] 胡仲祺 [3]

[1] 行政院農業委員會農業試驗所應用動物組
[2] 行政院農業委員會農業試驗所植物病理組
[3] 國立中興大學 生物科技學研究所
[4] 通訊作者 e-mail: fclin@tari.gov.tw

摘 要

銀葉粉蝨爲菸草粉蝨種群 (*Bemisia tabaci* complex) 的 B 生理小種 (B-type)，爲台灣目前最具優勢的粉蝨族群。銀葉粉蝨在全球至少傳播 111 種以上之雙生病毒科 (Geminiviruses) 中 *Begomovirus* 屬的病毒，本屬病毒寄主非常廣泛，引起多種作物嚴重的經濟損失。台灣已記錄之雙生病毒有 7 種，其中以番茄黄化捲葉病毒及南瓜捲葉病毒發生最爲普遍，在田間感染危害番茄、洋香瓜等蔬果。常用殺蟲劑對銀葉粉蝨卵與若蟲的毒效偏低，施用於田間無法達到防治效果。網室試驗結果顯示，番茄在苗期至開花期間感染番茄黄化捲葉病毒 (TYLCV)，嚴重影響結果數及果重，爲有效遏止雙生病毒的蔓延，在蔬果開花前徹底防治粉蝨減少傳播爲最佳管理策略。本文簡介銀葉粉蝨生態習性、傳毒機制、帶毒粉蝨檢測及監測方法，以及有效管理傳毒粉蝨之策略。

關鍵詞：銀葉粉蝨、雙生病毒科、番茄黄化捲葉病毒、南瓜捲葉病毒、防治

前 言

雙生病毒 (Germimivirus) 是由銀葉粉蝨傳播的病害，全球記錄至少超過 111 種以上 (Jones, 2003)，均屬於雙生病毒科 (Gemimivirdae) 中 *Begomovirus* 屬病毒，其寄主植物繁多廣泛分世界各地，危害多種作物，如番茄、茄子、馬鈴薯、豆類、瓜類、甘藍、萵苣、甘藷、胡椒、木瓜、秋葵、菸草、棉及樹薯等。由於病毒遺傳物質的極易重組，在美國及歐洲地中海區域，相繼在番茄上發現不同 Begomoviruses 的複合感染，形成農業上另一種難以克服的新衝擊 (Jones, 2003)。

根據文獻紀錄，台灣至少存在 7 種雙生病毒病害 (Jones, 2003; Chang *et al.*, 2003; Green *et al.*, 2005; 林, 2007; Liao *et al.*, 2007)，分別爲霍香黄脈病毒 (*Ageratum yellow vein Taiwan*)、聖誕紅捲葉病毒 (*Poinsettia leaf curl virus*; PLCV)、甘藷捲葉病毒 (*Sweet potato leaf curl virus*; SPLCV) 及台灣番茄捲葉病毒 (Tomato leaf curl Taiwan virus, ToLCTWV)、木瓜捲葉病毒 (Papaya leaf curl virus, PaLCV)、南瓜捲葉病毒 (*Squash leaf curl virus*, SLCV) 及新德里蕃茄捲葉病毒 (*Tomato leaf curl New Delhi virus*, ToLCNDV)，以上病毒均由銀葉粉蝨 (*Bemisia argentifolii* Bellows & Perring) 傳播。在田間又以番茄黄捲葉病毒及南瓜捲葉病毒分布最廣，

發生最爲普遍，近 10 年來在中南部番茄及瓜類等作物，經常發生此種由粉蝨傳播感染嚴重的病毒病害，導致全無收成的慘況 (彭及鄭, 2003; 鄧等, 2009; 彭等, 2009)。

傳播雙生病毒的銀葉粉蝨即是煙草粉蝨 (*Bemisia tabaci* (Gennadius) 種群中的 B 生理小種 (B-type) (柯等, 2002)，危害南瓜造成銀葉的徵狀，因此命名之，目前普遍接受將銀葉粉蝨歸納爲菸草粉蝨種群之觀念，但爲與其他生物小種區別及目前 B 生物小種爲台灣的優勢族群 (Ko *et al.*, 2005)，本文仍沿用銀葉粉蝨之俗名。

銀葉粉蝨散佈全球影響農業生產，主要的原因是國際間農產品貿易頻繁，人類的活動造成遷移與入侵。由於其具有適應於溫室存活的生物特性及危害園藝花木的潛力，加上栽培制度的集約化、肥料及殺蟲劑的施用提供粉蝨類害蟲大發生的有利條件。銀葉粉蝨爲具有傳病能力的多食性害蟲，危害植物時，受害部位會產生斑點、黃化、提早落葉及萎凋等徵狀，且誘發煤煙病，阻礙植物光合作用，導致植株衰弱、產量降低或失去商品價值。其傳播病毒對植物的危害更甚於直接取食，植物一旦罹患病毒，除拔除病株一途，並無有效藥劑可以防治。銀葉粉蝨體型細小，不易發覺其存在，一旦發生危害時，粉蝨族群密度已到難壓制的情況，且因其寄主植物廣泛，族群常常在不同植物間移轉蔓延，更增添防治上的困難。由於植物病毒病害無法以藥劑治療，加上單一方法難以有效達到控制銀葉粉蝨族群密度，本文針對銀葉粉蝨傳播在台灣蔬果上嚴重發生的番茄捲葉病毒及南瓜捲葉病毒，介紹其發生生態、傳毒機制、帶毒粉蝨監測技術及防治方法，作爲研擬阻斷銀葉粉蝨傳播植物病毒病害發生策略之參考。

銀葉粉蝨之分類地位

銀葉粉蝨爲半翅目 (Hemipatera) 粉蝨科 (Aleyrodidae) 的刺吸式昆蟲，此蟲源於菸草粉蝨 (*Bemisia tabaci* (Gennadius)) B 生物小種。菸草粉蝨在 1980 年代以前爲農業上偶發性害蟲，僅在中東及印度等地區的棉花田及蔬菜上零星發生 (Lemonick, 1991)。1986 年在美國佛羅里達州，發現菸草粉蝨出現在新的寄主作物上，危害盆栽聖誕紅、具抗藥性及傳播新的植物病毒的能力，因此被認爲是菸草粉蝨一新生物小種稱爲 B-biotype、Florida-biotype 或 poinsettia biotype (Byrne & Miller, 1990)。所謂生物小種 (biotype) 爲種 (species) 以下的分類階層，通常用來描述當族群間個體的外部形態無法區別，但是具有其他可資區別特徵的族群稱之。截至 2002 年，菸草粉蝨有 41 個被研究的族群，其中 24 個族群已經被認定爲特有生物小種，其餘則尚待確定 (Perring, 2001; 柯等, 2002)。

1993 年 Perring 等人基於菸草粉蝨 A、B 生理小種在基因組的差異及兩者具生殖隔離現象 (Barinage, 1993; Perring *et al.*, 1993)，認爲 B-biotype 應爲一新種稱爲銀葉粉蝨 (Silverleaf whitefly)，1994 年則正式將其命名爲 *Bemisia argentifolii* (Bellows *et al.*,1994)。但後來又陸續發現其他生物小種，加上當初命名時用來描述銀葉粉蝨的形態特徵不穩定，無法適用於鑑定各生物小種 (Campbell *et al.*, 1993; Rosell *et al.*, 1997; Frohlich *et al.*, 1999; 柯等, 2002)，以及交尾行爲試驗證實澳洲本

地小種與 B 生物小種兩者的生殖隔離機制並不完全 (De Barro & Hart, 2000)，不符合生物種觀念的定義，因此單獨將 B 生物小種提升爲一新種並不適當。目前大多數分類學者傾向銀葉粉蝨仍爲菸草粉蝨 B-biotype，與其他生物小種統稱菸草粉蝨種群，目前已被歸納爲新世界、泛世界、貝寧共和國及西班牙、印度、蘇丹、土耳其海南島、韓國及澳洲等 7 類群 (Perring, 2001; Ko *et al.*, 2002)。台灣目前有 3 個生物小種 (B, AN 及 Naurn)，本文作者接受將銀葉粉蝨歸納爲菸草粉蝨種群，但爲與其他生物小種區別，仍沿用銀葉粉蝨之俗名。

銀葉粉蝨之生態習性

銀葉粉蝨爲不完全變態的昆蟲，其生活史分爲卵、若蟲、成蟲。體型細小，成蟲體長約 1 mm，若蟲 0.5-0.8 mm。若蟲有四個齡期，卵孵化後的第 1 齡若蟲具足，可以爬行尋找適當的位置並固著於該處生活，之後各齡若蟲的足及觸角退化，除蛻皮時可短暫短距離移動外，均營固著生活 (Summers *et al.*, 1996)。第 4 齡若蟲具紅色眼點可與其他齡蟲區別，末期羽化前可以看見成蟲之雛型包覆於蛹殼 (pupal case) 內，因此將粉蝨第 4 齡期稱爲蛹期，雖是誤稱，但仍有沿用至今 (Martin, 1999)。

銀葉粉蝨在不同作物上的存活率，明顯受寄主及溫度之影響而有不同。在溫度的影響方面，根據相關的研究報告，當試驗溫度高於 35℃ 或低於 15℃ 時，其卵的孵化率甚低，且若蟲之死亡率增高，甚至無法發育爲成蟲。在茄子上，15℃ 時及 35℃ 時，由卵發育爲成蟲的存活率分別爲 39.8% 及 36.8%，明顯低於 20-30℃ 的 59.2-88.7% (Wang & Tsai, 1996)。在洋香瓜、甜椒及棉葉上，當試驗溫度爲 35℃ 時，卵雖可孵化，但均無法完成若蟲期之發育 (Nava-Camberos *et al.*, 2001)。

銀葉粉蝨在不同的經濟作物上其發育所需時間不一。在葫蘆科作物上的發育研究，Powell & Bellows (1992) 將菸草粉蝨飼育於胡瓜上，在 20℃ 及 32℃ 觀察其自卵發育爲成蟲所需時間分別爲 38.2 日及 17.4 日。另外 Tasi & Wang (1996) 觀察在 25℃ 定溫下，銀葉粉蝨在胡瓜上由卵發育爲成蟲需 19.3 日。而根據 Pai & Chen (1998) 之研究，於 28℃ 飼育於胡瓜上，由卵發育爲成蟲需 18.6 日。銀葉粉蝨在洋香瓜上的發育，在定溫 20-32℃，由卵發育爲成蟲所需時間爲 14.6-36.0 日 (Nava-Camberos *et al.*, 2001)。Pai & Chen (1998) 觀察在 28℃ 時，在洋香瓜上卵發育爲成蟲所需時間爲 14.5 日。在苦瓜上於 28℃ 時，由卵發育爲成蟲所需時間爲 25.2 日 (Chou, 2000)。

銀葉粉蝨在茄科作物上的發育研究結果顯示，在茄子上，於 15、20、25、27、30℃ 及 35℃ 等定溫下，由卵發育爲成蟲所需時間，依序爲 104.9、29.8、17.6、16.0、13.6 日及 18.8 日 (Wang & Tsai, 1996)。在甜椒上，25℃ 時，由卵發育爲成蟲所需時間爲 18.1 日 (Tsai & Wang, 1996)。而 Muniz & Nombela (2001) 進一步觀察銀葉粉蝨於 17、20、23、26、30、33℃ 及 35℃ 等 7 個定溫時，在甜椒上由卵發育爲成蟲所需時間依序爲 45.2、36.5、26.2、21.5、17.9、16.8 日及 19.8

日。而在番茄上，25℃ 定溫下，由卵發育爲成蟲所需時間爲 17.9 日 (Tsai & Wang, 1996)。

以洋香瓜葉片飼育銀葉粉蝨之生活史觀察 (林等, 2007c)，在 16-28℃ 等定溫時，由卵發育到成蟲需依溫度昇高而縮短，需 15.4-55.3 日。在 30-34℃ 定溫時，發育所需時間依溫度昇高而增長，需 15.8-21.1 日。以 16-28℃ 時溫度與發速率之直線回歸方程式，推算卵-成蟲的發育臨界低溫爲 11.5℃，而自卵發育爲成蟲的發育總積溫 259.807 日度 (degree-days)。另以非線性迴歸模式估算各發育溫度臨界值，其中致死溫度爲 37.635 ± 1.0126℃，由卵發育爲成蟲的發育最適溫度 (optimal temperature) 爲 29.9℃，發育臨界低溫 (low temperature threshold) 爲 9.1℃。

銀葉粉蝨在洋香瓜上的成蟲壽命與繁殖量，根據 Nava-Camberos *et al.* (2001) 的試驗觀察結果，在 30℃ 時，平均每雌蟲一生總產卵量爲 158.3 粒。而 Pai & Chen (1998) 在 28℃ 的飼養於洋香瓜的結果，其平均每雌蟲一生總產卵量爲 104.36 粒，另一飼養於胡瓜者爲 135.71 粒，飼養於花椰菜者爲 91.8 粒。Tsai & Wang (1996) 觀察銀葉粉蝨於 25℃ 時在五種植物上的生活史，平均雌成蟲壽命以在茄子及番茄上者最長分別爲 24.03 日及 20.55 日，其次爲番薯與菜豆，最短者爲爲胡瓜；平均每雌蟲一生總產卵量以在茄子上者最多爲 223.67 粒，在番茄上者次之平均爲 167.55 粒。

病毒與媒介粉蝨之交互作用

研究了解病毒與媒介昆蟲間的交互作用，有助於發展新的管理策略以對抗植物病毒。病毒在粉蝨體內與植物的移動的路徑，以銀葉粉蝨傳播番茄的 *Begomovirus* 爲例，粉蝨以刺吸式口器刺入植物韌皮部，從植物組織液中獲得病毒，進入粉蝨口針的食料腔 (food canal)，經過消化道的食道與前腸。當食物進入濾室 (filter-chamber) 與中腸時，水分被排除移轉至後腸 (hindgut) 的小腸 (ileum)，因此 *Begomovirus* 被濃縮吸附並穿過消化道的細胞膜而進入了昆蟲的血淋巴 (Hemolymph)，病毒再血淋巴內移動直到接觸唾液腺 (Salivary gland) 細胞膜，此時病毒穿過細胞膜並移動至唾液管隨著唾液進入口針的唾液腔，最後被注入至植物細胞 (Hunter *et al.*, 1996, 1998; Ghanim *et al.*, 2001)。*Begomovirus* 病毒被攝食進入粉蝨體內後，並無法立即有感染其他植株的能力，必須依循前述的消化道的循環路徑，完成這個路徑所需時間稱爲潛伏期 (Latent period)。潛伏期的長短與病毒在粉蝨體內傳送的速度無關，關鍵是病毒在粉蝨體內是否累積足夠可以造成植物致病的量 (Henryk, 2007)。潛伏期的長短依試驗條件、病毒種類及寄主而有差異，例如南瓜捲葉病毒 (SLCV) 約 19 h (Cohen, *et al.*, 1983)，黃化捲葉病毒 (TYLCV) 約 8-21 h (Ghanim *et al.*, 2001)。根據報導粉蝨雌蟲在取食番茄黃化捲葉病毒株 4-48 h 後，每隻雌蟲平均可以獲得 0.5-1.6 ng 的黃捲葉病毒的 DNA，平均總量每天約減少 1-2% (Caciagli & Bosco, 1997)

銀葉粉蝨的傳毒能力據文獻報導，銀葉粉蝨取食病株後的獲毒時間 (acquisition)，以番茄黃捲葉病毒 (TYLCV) 爲例，約爲 20-60 min，接種病毒時間

約 10-30 min，潛伏期爲 10-24 h。單隻粉蝨在取食番茄後 24 h 即可傳毒，若同時接種 5-15 隻粉蝨，對蕃茄黃化捲葉病毒或南瓜捲葉病毒，均可以達到 90-100% 傳毒效率 (Jiang *et al.*, 2000; 彭與陳, 2006; Jiu *et al.*, 2006)。粉蝨的性別與年齡均會影響傳毒能力，多數實驗結果證明，在黃化捲葉病毒的傳播以雌蟲較雄蟲具效力，傳毒能力隨蟲齡增加而降低，例如羽化 1-2 星期內的雌蟲在獲毒 48 h 內即可將黃化捲葉病毒傳播出去，羽化 3 星期後的雌蟲僅 60% 具傳毒能力，而同齡雄蟲則完全無傳毒能力。番茄黃化捲葉病毒可以持續存在粉蝨體內 10-12 天，極少數可以維持 20 天以上。此外，病毒不會經卵傳播至子代粉蝨 (Jiu *et al.*, 2006)。銀葉粉蝨成蟲帶番茄黃化捲葉病毒後，相較於未帶毒的成蟲，其生活期望值縮短 17-23%，平均產卵量減少 40-50% (Rubinstein & Czosnek, 1997)。

防治技術與防治策略

由於銀葉粉蝨特殊的生物特性以及傳播病毒種類繁多，植物、病毒及媒介粉蝨間關係相當複雜，針對粉蝨與病原病毒，發展及實施有害生物管理策略 (IPM)，較單一防治法可以更有效解決這個問題。根據 2008 年農業試驗所試驗調查，小果番茄 (紅眞珠品系) 在不同生長期感染番茄黃化捲葉病毒對產量及品質之影響，分別比較其在苗期及定期後 2 週 (花期)、4 週 (結果期)、6 週 (果實成長) 及 8 週 (收穫期) 感染病毒後與健康植株之差異，平均每株番茄生產果實總重量分別爲 10.5、107.8、181.8、496.9、632.5g 及 637.0g；在平均果重上表現爲 1.8、2.4、2.9、3.4、3.7g 及 5.0g。由結果顯示，番茄愈晚罹患黃化捲葉病毒對產量影響愈小，若於苗期感染病毒後，則植株無法正常生長、開花及結果。銀葉粉蝨傳播洋香瓜的南瓜捲葉病毒雖沒有進行與番茄相同的試驗調查，但在田間觀察亦有相似現象，苗期及開花期 (瓜蔓約 60 cm 長) 之前感染病毒，洋香瓜無法正常生長及開花，嚴重影響產量。

基於前項試驗結果，參考綜合粉蝨的生態及傳播病毒的特性，爲防止粉蝨傳播雙生病毒的策略，應著重於作物苗期及栽培初期粉蝨發生密度的管理，由於粉蝨的卵及若蟲均固定在植物體上，只有帶毒的成蟲具傳播擴散的能力，因此，迅速徹底防治成蟲，減少其在植物上產卵，延遲或減緩銀葉粉蝨在田間擴建族群，以避免作物早期感染病毒而造成嚴重損失。透過適當檢測與監測，可以了解帶毒粉蝨發生的數量，掌握後續植物病毒病勢的發展，提早進行防治工作。在防治措施的選擇與整合，掌握所使用的殺蟲劑對田間粉蝨群的毒性，選用毒效高的藥劑，提高防治效益，迅速降低銀葉粉蝨族群密度，爲管理粉蝨減少傳播病毒第一要務。其它結合早熟品種栽培及田間衛生的管理，提供健康的種苗有助於後續防治工作；或發展作物的抗性品系等可作爲防治粉蝨傳播病毒的防治手段。

一、帶毒粉蝨之監測

由於銀葉粉蝨的體型細小，而且藏匿於葉背，族群密度低時很難發現粉蝨的存在，一旦發現粉蝨的危害，往往族群密度已過高到錯失防治的時機。因此建立銀葉粉蝨族群的監測方法，以便早期發現粉蝨的發生，尤其測知帶毒分粉蝨的出

現，可以幫助業者適時的防治粉蝨，以阻斷帶毒銀葉粉蝨傳播病毒感染田間健康植株的途徑，是防治植物病毒危害作物的首要工作。目前分生技術可以快速的檢測粉蝨是否帶毒，但此種監測方法需要設備與人力，一般的栽培農友少有這種能力，因此政府或相關的研究單位應負起監測的責任，如能定期發布相關的監測資料，作爲防治的參考，可以發揮共同防治效果。

目前台灣在檢測及監測帶毒粉蝨的方法，主要爲滾輪式擴增法 (Rolling circle amplification, RCA) 及聚合脢鏈鎖反應 (Polymerase chain reaction, PCR)，兩者均有其優缺點 (廖等, 2010)，例如滾輪式擴增法必須檢測活蟲，而粉蝨體型細小，田間採集相當耗時費力；聚合脢鏈鎖反應雖然靈敏，但不一定可以正確檢測出帶病毒粉蝨。由於黃色黏板不但可以誘集植株上發生的粉蝨，也可誘集鄰近地區的寄主植物上遷飛的粉蝨，農試所等相關試驗單位，曾針對傳播番茄黃化捲葉病毒及南瓜捲葉病毒的媒介粉蝨，開發以黃色黏蟲紙誘集成蟲並以 PCR 檢測其上帶毒粉蝨 (彭與陳, 2006)，作爲監測帶病毒粉蝨密度方法。如以 GCP4/PA4 引子對，可以穩定檢測出黃色黏紙誘集來的粉蝨帶黃化捲葉病毒與否 (林等, 2007a,b)，並可根據帶病毒粉蝨率與黃色黏紙誘得粉蝨成蟲數目估算帶病毒粉蝨之密度。另外針對南瓜黃化捲葉病毒開專一性引子對，監測黏板誘集田間洋香瓜上銀葉粉的帶毒率，也有極高的檢出率，與田間洋香瓜罹南瓜捲葉病毒率相關性。

由於雙生病毒的基因體具高度的變異性，應用分生技術檢測帶病毒粉蝨，往往爲了避免無法檢出變異的病毒而設計簡併式的引子對，可以依次檢測多種病毒。但以田間生態及蟲害管理的角度而言，由於銀葉粉蝨寄主繁多，台灣田間許多植物存在多種雙生病毒，以簡併式引子對在田間粉蝨帶毒率偵測，容易有高估其帶毒率的情形，此種誤差容易造成不當的決策至防治失效或提高生產成本。因此，建議此類分生檢測技術，以開發具高靈敏度、專一性及簡便的技術爲佳 (廖等, 2010)。

根據統計分析田間監測銀葉粉蝨帶毒率與番茄罹患黃化捲葉病毒或洋香瓜罹南瓜捲葉病毒率，兩者線性關係不顯著，故不適合僅以粉蝨帶毒率估算田間的植物罹病率。若將粉蝨帶毒率與平均黏板誘集粉蝨密度之乘積，計算爲帶毒粉蝨數量，統計分析其與植物罹病率，兩者呈正相關，因此，利用帶病毒粉蝨數量較粉蝨帶毒率估算田間洋香瓜罹病率較佳。

二、粉蝨對殺蟲劑之感受性

防治粉蝨的方法很多，如施用殺蟲劑、耕作防治、物理防治及生物防治等等。銀葉粉蝨的自然天敵非常豐富，台灣也紀錄有數種本地銀葉粉蝨的天敵，但是針對防治媒介植物病毒的銀葉粉蝨，生物天敵並不適合做爲防治的主要工具，因爲即使是少量的帶毒粉蝨也會傳播病毒病造成嚴重的損失。利用黃色黏板誘集粉蝨成蟲的物理防治，雖然可以誘殺相當的粉蝨，但是以生物特性而言，雌蟲的最大任務就是尋找寄主植物、繁衍後代及建立族群，因此，寄主植物與黏板相較，植物顯然較具誘引力，在黏紙誘集粉蝨前恐已將病毒傳播至健康植物。利用作物的抗蟲性以降低粉蝨傳播植物病毒病害機會，是許多研究人員的目標之一。然而，

仍有許多抗性品系栽植於田間仍受到銀葉粉蝨傳播的病毒危害，主因爲雙生病毒的基因組極易重組而造成變異，因此如何維持對粉蝨或是病毒一定的抗性仍是一大挑戰。

綜合上述，無疑的以殺蟲劑降低粉蝨密度是最簡便迅速的方法，然而銀葉粉蝨是相當容易誘發抗藥性的害蟲，因此合理的使用殺蟲劑，管理銀葉粉蝨的密度，延緩其抗藥性產生爲重要課題之一。

粉蝨對殺蟲劑的感受性因蟲齡或區域性而有不同，農試所研究人員，在實驗室內以 9.6% 益達胺溶液 1500 倍、2.8% 畢芬寧乳劑 1000 倍、11% 百利普芬乳劑 1000 倍、2% 阿巴汀乳劑 2000 倍、25% 派滅淨可濕性粉劑 1200 倍、10% 克凡派水懸劑 1000 倍、2.4% 第滅寧水懸劑 1000 倍、10% 賽速安水溶性粒劑 4000 倍、25% 布芬淨可濕性粉劑 1000 倍、20% 達特南水溶性粒劑 3000 倍、16% 可尼丁水溶性粒劑 3000 倍、10% 氟尼胺水分散劑 4000 倍、2.1% 因滅汀乳劑 2000 倍及 3.5% 魚藤精乳劑 500 倍等 14 種藥劑稀釋液，測試採集自雲林崙背地區及台南安南地區，洋香瓜上銀葉粉蝨之成蟲、若蟲及卵的毒效。結果顯示 11% 百利普芬乳劑稀釋 1000 倍殺卵效果最佳，達 90% 以上，其他藥劑對銀葉粉蝨殺卵效果甚低。對若蟲的毒性測定，供試藥劑中，僅有以 3.5% 魚藤精乳劑處理崙背地區粉蝨 1-2 齡及 3-4 齡若蟲經 72 小時後之死亡率分別 83.% 及 98.7%，其餘供試藥劑處理後粉蝨若蟲死亡率均低於 30%。安南地區粉蝨 1-2 齡若蟲則以 3.5% 魚藤精乳劑處理經 72 小時後後死亡率爲 45.6%，其餘藥劑處理後粉蝨若蟲死亡率均低於 10%。結果顯示不同地區粉蝨若蟲對殺蟲劑的感受性不同，以崙背地區粉蝨的感受性較高。但魚藤精目前並未登記使用於洋香瓜。對成蟲的毒效測定，以 2.15% 因滅汀乳劑、2% 阿巴汀乳劑、10% 氟尼胺水分散性粒劑、3.5% 魚藤精乳劑及 2.8% 畢芬寧乳劑液處理經 24 小時，粉蝨成蟲死亡率依序爲 97.1、94.9、72.2、67.6% 及 63.9%，其餘藥劑處理 24 小時粉蝨死亡率低於 60%。

綜合藥劑對洋香瓜上銀葉粉蝨各蟲期之毒效測試結果，歸納爲有效遏阻銀葉粉蝨在洋香瓜上傳播南瓜捲葉病毒，應於及早在苗期施藥防治粉蝨，阻斷病毒傳播途徑。施藥時，由於所有的藥劑處理洋香瓜上粉蝨的死亡率甚低，魚藤精不可施用於洋香瓜，爲有效防治粉蝨，於洋香瓜栽培期選擇噴施百利普芬防治粉蝨卵，施用阿巴汀或因滅汀防治粉蝨成蟲，可提高防治效率。

結論與未來展望

銀葉粉蝨與其傳播的病毒之所以在台灣田間猖獗發生，造成農作物重大的損失，除了台灣地理環境及氣候條件極適合粉蝨發生，國際間的貿易活動、植物的移轉往往增加了新病害傳入我國的機會。開發病毒與帶毒粉蝨的檢測與監測分生技術，可以提供在植物檢疫上迅速檢出新病毒杜絕其進入台灣，傳播感染農作物造成重大的損失。田間進行帶毒粉蝨的監測可以掌握植物病毒發生種類及可能的病勢發展，以便及時做好防治工作。歸納造成黃捲葉病毒流行的因素包括：盲目的使用農藥，導致粉蝨產生抗藥性；終年密集栽培粉蝨喜好的作物，而農民面對

銀葉粉蝨的危害，如果過度依賴單一藥劑的防治，往往爲了加強達到防治的目的，因此提高施藥次數或藥劑濃度，卻可能造成加速抗藥性產生的後遺症，如何改善農友用藥習慣有賴各單位人員加強輔導。開發完善的害蟲整合管理技術供農友使用解決問題，爲未來研究重要課題之一。

引用文獻

白桂芳、陳慶忠。1998。銀葉粉蝨在三種寄主植物上之生物特性。臺中區農業改良場研究彙報 58: 33-41。

林鳳琪。2007。銀葉粉蝨傳播之植物病毒病害及其防治策略。植物蟲媒病害與防治研討會專刊 247-256 頁。

林鳳琪、張淑貞、王清玲。2007[a]。銀葉粉蝨傳播番茄黃化捲葉病毒之偵測。植保會刊 49: 355。

林鳳琪、張淑貞、王清玲。2007[b]。番茄黃化捲葉病毒綜合防治可行性之評估。植保會刊 49: 364。

林鳳琪、賴信順、陳秋男。2007[c]。洋香瓜上銀葉粉蝨之發育臨界溫度估算。台灣昆蟲 27: 377-378。

柯俊成、陳秋男、王重雄。2002。煙草粉蝨種群 (*Bemisia tabaci* species complex) 分類學綜述。台灣昆蟲 22: 307-341。

彭瑞菊、陳昇寬。2006。番茄黃化捲葉病毒田間監測及銀葉粉蝨傳毒試驗。台南區農業改良場研究彙報 48: 9-15。

彭瑞菊、鄭安秀。2003。台南區番茄病毒病的種類及分佈。台南區農業專訊 44: 15-18。

彭瑞菊、陳昇寬、鄭安秀。2009。洋香瓜病毒病害及其防治方法。農業世界 315: 51-64。

廖吉彥、鄧汀欽、林鳳琪、黃莉欣、彭瑞菊、陳宗祺、賴儀瑾、陳信宏、宋明彥、胡仲祺。2010。台灣中南部瓜類作物與粉蝨中雙生病毒之監測與其基因體變異性分析。農業試驗所特刊 149: 205-226。

鄧汀欽、鄭櫻慧、廖吉彥。2009。感染洋香瓜的病毒種類與病害流行趨勢。技術服務季刊 78: 9-11。

Barinaga, M. 1993. Is devastating whitefly invader really a new species? Science 259: 30.

Bellows, T. S., T. M. Perring, Jr., R. J.Gill, and D. H. Headrick. 1994. Description of a species of *Bemisia* (Homoptera: Aleyrodidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 87: 195-206.

Byrne, D. N., and W. B. Miller. 1990. Carbohydrate and amino acid composition of phloem sap and honeydew produced by *Bemisia tabaci*. J. Insect Physiol. 36: 433-439.

Caciagli, P., and D. Bosco. 1997. Quantitation over time of tomato yellow leaf curl geminivirus DNA in its whitefly vector. Phytopathology 87: 610-613.

Campbell, B. C., J. E. Duffus, P. Baumann, A. C. Bartlett, and N. J.Gawel. 1993.

Determining whitefly species. Science 261: 1333.

Chang, L. S., Y. S. Lee, H. J. Su, and T. H. Hung. 2003. First Report of *Papaya leaf curl virus* Infecting Papaya Plants in Taiwan. Plant Dis. 87: 204.

Cohen, S., J. E. Duffus, R. C. Larsen, H. Y. Liu, and R. A. Flock. 1983. Purification, serology, and vector relationships of *Squash leaf curl virus*, a whitefly-transmitted geminivirus. Phytopathology 73: 1669-1673.

De Barro, P. J., and P. J. Hart. 2000. Mating interactions between two biotypes of the whitefly, *Bemisia tabaci* in Australia. Bull. Entomol. Res. 90: 103-112.

Frohlich, D. R., I. Torres-Jerez, I. D. Bedford, P. G. Markham, and J. K. Brown. 1999. A phylogeographical analysis of the *Bemisia tabaci* species complex based on mitochondrial DNA markers. Mol. Ecol. 8: 1683-1691.

Ghanim, M., S. Morin, and H. Czosnek. 2001. Rate of Tomato Yellow Leaf Curl Virus (TYLCV) Translocation in the circulative transmission pathway of its vector, the whitefly *Bemisia tabac*i. Phytopathology 91: 188-196.

Green, S. K., W. S. Tsai, S. L. Shih, Y. C. Huang, and L. M. Lee. 2005. Diversity of geminiviruses of tomato and weed in Asia. Proceedings of the International Seminar on Whitefly Management and Control Strategy. p 19-66.

Hunter, W. B., E. Hilebert, S. E. Webb, J. E. Polston, and J. H. Tsai. 1996. Precibarial and cibarial chemosensilla in the whitefly, *Bemisia tabaci* Gennadius (Homoptera: Aleyrodidae). Int. J. Insect Morphol. Embryol. 25: 295-304.

Hunter, W. B., E. Hilebert, S. E. Webb, J. H. Tsai, and J. E. Polston. 1998. Location of Geminiviruses in the whitefly *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). Plant Dis. 82: 1147-1151.

Jiang, Y. X., C. de Blas, L. Barrios, and A. Fereres. 2000. Correlation between Whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) feeding behavior and transmission of tomato yellow leaf virus. Ann. Entomol. Soc. Am. 93: 573-579.

Jiu, M., X. P. Zhou, and S. S. Liu. 2006. Acquisition and transmission of two Begomoviruses by the B and a non-B biotype of *Bemisia tabaci* from Zhejiang, China. Phytopathology 154: 587-591.

Jones, D. R. 2003. Plant viruses transmitted by whiteflies. Eur. J. Plant pathol. 109: 195-219.

Ko, C. C., S. C. Chang, and C. C. Hu. 2005. Survey of the whitefly status and their transmission of plant viruses in Taiwan. Proceedings of the International Seminar on Whitefly Management and Control Strategy. p 109-131.

Lemonick, M. D. 1991. Invasion of the superbug. Time Nov. 25: 84.

Liao, J. Y., C. C. Hu, T. K. Lin, C. A. Chang, and T. C. Deng. 2007. Identification of Squash leaf curl Philippines virus on Benincasa hispida in Taiwan. Plant Pathol. Bull. 16: 11-18.

Martin, J. H. 1999. The whitefly fauna of Australia (Sternorrhyncha: Aleyrodidae): A taxonomic account and identification guide. CSIRO Entomol. Tech. Paper No 38. 197 pp.

Nava-Camberos, U., D. G. Riley, and M. K. Harris. 2001. Temperature and host plant effects on development, survival, and fecundity of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae). Environ. Entomol. 30: 55-63.

Perring, T. M. 2001. The *Bemisia tabaci* species complex. Crop Prot. 20: 725-737.

Perring, T. M., A. D. Cooper, R. J. Rodriguez, C. A. Farrar, and T. S. Bellows, Jr. 1993. Identification of a whitefly species by genomic and behavioral studies. Science 259: 74-77.

Powell, D. A., and T. S. J. Bellows. 1992. Preimaginal development and survival of *Bemisia tabaci* on cotton and cucumber. Environ. Entomol. 21: 359-363

Rosell, R. C., I. D. Bedford, D. R. Frohlich, R. J. Gill, J. K. Brown, and P. G. Markham. 1997. Analysis of morphological variation in distinct populations of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 90: 575-589.

Rubinstein, G., and H. Czosnek. 1997. Long-term association of tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) with its whitefly vector *Bemisia tabaci*: effect on the insect transmission capacity, longevity and fecundity. J. Gen. Virol. 78: 2683-2689.

Summers, C. G., A. S. Newton, Jr., and D. Estrada. 1996. Intraplant and interplant movement of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) crawlers. Environ. Entomol. 25: 1360-1364.

Tsai, J. H., and K. Wang. 1996. Development and reproduction of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) on five host plants. Environ. Entomol. 25: 810-816.

Wang, K., and J. H. Tsai. 1996. Temperature effect on development and reproduction of silverleaf whitefly (Homoptera: Aleyrodidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 89: 375-384.

Silverleaf whitefly vector for geminiviruses on vegetables and their control

Feng-Chyi Lin[1,4] Shu-Chen Chang[1] Ying-Huey Cheng [2]
Chin-Ling Wang[1] and Chung-Chi Hu[3]

[1] Applied Zoology Division, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.
[2] Plant Pathology Division, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.
[3] Graduate Institute of Biotechnology, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC.
[4] Corresponding author, e-mail: fclin@tari.gov.tw

Abstract

The silverleaf whitefly (*Bemisia argentifolii* Bellow & Perring), the B-type of *Bemisia tabaci* complex, is the most superior whitefly species in Taiwan. There are more than 111 *Begomovirus* (Family Geminiviridae) species transmitted by silverleaf whitefly globally. Among them seven begomoviruses reportedly existed in Taiwan, especially *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV) and *squash* l*eaf curl virus* (SLCV) that seriously cause yield loss on tomato and cantaloupe. It is inefficient to control silverleaf whitefly with insecticides in the flied since their toxicity to its eggs and larvae are low. Tomato plants-infected by Geminiviruses during the seeding stage were unable to grow, bloom and set fruits normally. Therefore, an effective and suitable control tactic applied during the early planting period is imperative in order to reduce the population density of silverleaf whitefly and hence the reduction of Geminiviruses-infected tomato plants in net houses. This article describes the taxonomy, ecological habitats, virus transmission mechanism of silverleaf whitefly as well as the detection of silverleaf whitefly that carries the viruses and the effective control strategies for silverleaf whitefly.

Key words: *Bemisia argentifolii*, Geminiviridae, *Tomato yellow leaf curl virus*, *Squash* l*eaf curl virus*, control.

銀葉粉蝨傳播蔬果雙生病毒及其防治研究

林鳳琪[1,4] 張淑貞[1] 鄭櫻慧[2] 王清玲[1] 胡仲祺[3]

[1] 行政院農業委員會農業試驗所應用動物組
[2] 行政院農業委員會農業試驗所植物病理組
[3] 國立中興大學 生物科技學研究所
[4] 通訊作者 e-mail: fclin@tari.gov.tw

摘 要

銀葉粉蝨爲菸草粉蝨種群 (*Bemisia tabaci* complex) 的 B 生理小種 (B-type)，爲台灣目前最具優勢的粉蝨族群。銀葉粉蝨在全球至少傳播 111 種以上之雙生病毒科 (Geminiviruses) 中 *Begomovirus* 屬的病毒，本屬病毒寄主非常廣泛，引起多種作物嚴重的經濟損失。台灣已記錄之雙生病毒有 7 種，其中以番茄黃化捲葉病毒及南瓜捲葉病毒發生最爲普遍，在田間感染危害番茄、洋香瓜等蔬果。常用殺蟲劑對銀葉粉蝨卵與若蟲的毒效偏低，施用於田間無法達到防治效果。網室試驗結果顯示，番茄在苗期至開花期間感染番茄黃化捲葉病毒 (TYLCV)，嚴重影響結果數及果重，爲有效遏止雙生病毒的蔓延，在蔬果開花前徹底防治粉蝨減少傳播爲最佳管理策略。本文簡介銀葉粉蝨生態習性、傳毒機制、帶毒粉蝨檢測及監測方法，以及有效管理傳毒粉蝨之策略。

關鍵詞：銀葉粉蝨、雙生病毒科、番茄黃化捲葉病毒、南瓜捲葉病毒、防治

前 言

雙生病毒 (Germimivirus) 是由銀葉粉蝨傳播的病害，全球記錄至少超過 111 種以上 (Jones, 2003)，均屬於雙生病毒科 (Gemimivirdae) 中 *Begomovirus* 屬病毒，其寄主植物繁多廣泛分世界各地，危害多種作物，如番茄、茄子、馬鈴薯、豆類、瓜類、甘藍、萵苣、甘藷、胡椒、木瓜、秋葵、菸草、棉及樹薯等。由於病毒遺傳物質的極易重組，在美國及歐洲地中海區域，相繼在番茄上發現不同 Begomoviruses 的複合感染，形成農業上另一種難以克服的新衝擊 (Jones, 2003)。

根據文獻紀錄，台灣至少存在 7 種雙生病毒病害 (Jones, 2003; Chang *et al.*, 2003; Green *et al.*, 2005; 林, 2007; Liao *et al.*, 2007)，分別爲霍香黃脈病毒 (*Ageratum yellow vein Taiwan*)、聖誕紅捲葉病毒 (*Poinsettia leaf curl virus*; PLCV)、甘藷捲葉病毒 (*Sweet potato leaf curl virus*; SPLCV) 及台灣番茄捲葉病毒 (Tomato leaf curl Taiwan virus, ToLCTWV)、木瓜捲葉病毒 (Papaya leaf curl virus, PaLCV)、南瓜捲葉病毒 (*Squash leaf curl virus*, SLCV) 及新德里蕃茄捲葉病毒 (*Tomato leaf curl New Delhi virus*, ToLCNDV)，以上病毒均由銀葉粉蝨 (*Bemisia argentifolii* Bellows & Perring) 傳播。在田間又以番茄黃捲葉病毒及南瓜捲葉病毒分布最廣，

發生最爲普遍，近 10 年來在中南部番茄及瓜類等作物，經常發生此種由粉蝨傳播感染嚴重的病毒病害，導致全無收成的慘況 (彭及鄭, 2003; 鄧等, 2009; 彭等, 2009)。

傳播雙生病毒的銀葉粉蝨即是煙草粉蝨 (*Bemisia tabaci* (Gennadius) 種群中的 B 生理小種 (B-type) (柯等, 2002)，危害南瓜造成銀葉的徵狀，因此命名之，目前普遍接受將銀葉粉蝨歸納爲菸草粉蝨種群之觀念，但爲與其他生物小種區別及目前 B 生物小種爲台灣的優勢族群 (Ko *et al.*, 2005)，本文仍沿用銀葉粉蝨之俗名。

銀葉粉蝨散佈全球影響農業生產，主要的原因是國際間農產品貿易頻繁，人類的活動造成遷移與入侵。由於其具有適應於溫室存活的生物特性及危害園藝花木的潛力，加上栽培制度的集約化、肥料及殺蟲劑的施用提供粉蝨類害蟲大發生的有利條件。銀葉粉蝨爲具有傳病能力的多食性害蟲，危害植物時，受害部位會產生斑點、黄化、提早落葉及萎凋等徵狀，且誘發煤煙病，阻礙植物光合作用，導致植株衰弱、產量降低或失去商品價值。其傳播病毒對植物的危害更甚於直接取食，植物一旦罹患病毒，除拔除病株一途，並無有效藥劑可以防治。銀葉粉蝨體型細小，不易發覺其存在，一旦發生危害時，粉蝨族群密度已到難壓制的情況，且因其寄主植物廣泛，族群常常在不同植物間移轉蔓延，更增添防治上的困難。由於植物病毒病害無法以藥劑治療，加上單一方法難以有效達到控制銀葉粉蝨族群密度，本文針對銀葉粉蝨傳播在台灣蔬果上嚴重發生的番茄捲葉病毒及南瓜捲葉病毒，介紹其發生生態、傳毒機制、帶毒粉蝨監測技術及防治方法，作爲研擬阻斷銀葉粉蝨傳播植物病毒病害發生策略之參考。

銀葉粉蝨之分類地位

銀葉粉蝨爲半翅目 (Hemipatera) 粉蝨科 (Aleyrodidae) 的刺吸式昆蟲，此蟲源於菸草粉蝨 (*Bemisia tabaci* (Gennadius)) B 生物小種。菸草粉蝨在 1980 年代以前爲農業上偶發性害蟲，僅在中東及印度等地區的棉花田及蔬菜上零星發生 (Lemonick, 1991)。1986 年在美國佛羅里達州，發現菸草粉蝨出現在新的寄主作物上，危害盆栽聖誕紅、具抗藥性及傳播新的植物病毒的能力，因此被認爲是菸草粉蝨一新生物小種稱爲 B-biotype、Florida-biotype 或 poinsettia biotype (Byrne & Miller, 1990)。所謂生物小種 (biotype) 爲種 (species) 以下的分類階層，通常用來描述當族群間個體的外部形態無法區別，但是具有其他可資區別特徵的族群稱之。截至 2002 年，菸草粉蝨有 41 個被研究的族群，其中 24 個族群已經被認定爲特有生物小種，其餘則尚待確定 (Perring, 2001; 柯等, 2002)。

1993 年 Perring 等人基於菸草粉蝨 A、B 生理小種在基因組的差異及兩者具生殖隔離現象 (Barinage, 1993; Perring *et al.*, 1993)，認爲 B-biotype 應爲一新種稱爲銀葉粉蝨 (Silverleaf whitefly)，1994 年則正式將其命名爲 *Bemisia argentifolii* (Bellows *et al.*,1994)。但後來又陸續發現其他生物小種，加上當初命名時用來描述銀葉粉蝨的形態特徵不穩定，無法適用於鑑定各生物小種 (Campbell *et al.*, 1993; Rosell *et al.*, 1997; Frohlich *et al.*, 1999; 柯等, 2002)，以及交尾行爲試驗證實澳洲本

地小種與 B 生物小種兩者的生殖隔離機制並不完全 (De Barro & Hart, 2000)，不符合生物種觀念的定義，因此單獨將 B 生物小種提升爲一新種並不適當。目前大多數分類學者傾向銀葉粉蝨仍爲菸草粉蝨 B-biotype，與其他生物小種統稱菸草粉蝨種群，目前已被歸納爲新世界、泛世界、貝寧共和國及西班牙、印度、蘇丹、土耳其海南島、韓國及澳洲等 7 類群 (Perring, 2001; Ko *et al.*, 2002)。台灣目前有 3 個生物小種 (B, AN 及 Naurn)，本文作者接受將銀葉粉蝨歸納爲菸草粉蝨種群，但爲與其他生物小種區別，仍沿用銀葉粉蝨之俗名。

銀葉粉蝨之生態習性

銀葉粉蝨爲不完全變態的昆蟲，其生活史分爲卵、若蟲、成蟲。體型細小，成蟲體長約 1 mm，若蟲 0.5-0.8 mm。若蟲有四個齡期，卵孵化後的第 1 齡若蟲具足，可以爬行尋找適當的位置並固著於該處生活，之後各齡若蟲的足及觸角退化，除蛻皮時可短暫短距離移動外，均營固著生活 (Summers *et al.*, 1996)。第 4 齡若蟲具紅色眼點可與其他齡蟲區別，末期羽化前可以看見成蟲之雛型包覆於蛹殼 (pupal case) 內，因此將粉蝨第 4 齡期稱爲蛹期，雖是誤稱，但仍有沿用至今 (Martin, 1999)。

銀葉粉蝨在不同作物上的存活率，明顯受寄主及溫度之影響而有不同。在溫度的影響方面，根據相關的研究報告，當試驗溫度高於 35℃ 或低於 15℃ 時，其卵的孵化率甚低，且若蟲之死亡率增高，甚至無法發育爲成蟲。在茄子上，15℃ 時及 35℃ 時，由卵發育爲成蟲的存活率分別爲 39.8% 及 36.8%，明顯低於 20-30℃ 的 59.2-88.7% (Wang & Tsai, 1996)。在洋香瓜、甜椒及棉葉上，當試驗溫度爲 35℃ 時，卵雖可孵化，但均無法完成若蟲期之發育 (Nava-Camberos *et al.*, 2001)。

銀葉粉蝨在不同的經濟作物上其發育所需時間不一。在葫蘆科作物上的發育研究，Powell & Bellows (1992) 將菸草粉蝨飼育於胡瓜上，在 20℃ 及 32℃ 觀察其自卵發育爲成蟲所需時間分別爲 38.2 日及 17.4 日。另外 Tasi & Wang (1996) 觀察在 25℃ 定溫下，銀葉粉蝨在胡瓜上由卵發育爲成蟲需 19.3 日。而根據 Pai & Chen (1998) 之研究，於 28℃ 飼育於胡瓜上，由卵發育爲成蟲需 18.6 日。銀葉粉蝨在洋香瓜上的發育，在定溫 20-32℃，由卵發育爲成蟲所需時間爲 14.6-36.0 日 (Nava-Camberos *et al.*, 2001)。Pai & Chen (1998) 觀察在 28℃ 時，在洋香瓜上卵發育爲成蟲所需時間爲 14.5 日。在苦瓜上於 28℃ 時，由卵發育爲成蟲所需時間爲 25.2 日 (Chou, 2000)。

銀葉粉蝨在茄科作物上的發育研究結果顯示，在茄子上，於 15、20、25、27、30℃ 及 35℃ 等定溫下，由卵發育爲成蟲所需時間，依序爲 104.9、29.8、17.6、16.0、13.6 日及 18.8 日 (Wang & Tsai, 1996)。在甜椒上，25℃ 時，由卵發育爲成蟲所需時間爲 18.1 日 (Tsai & Wang, 1996)。而 Muniz & Nombela (2001) 進一步觀察銀葉粉蝨於 17、20、23、26、30、33℃ 及 35℃ 等 7 個定溫時，在甜椒上由卵發育爲成蟲所需時間依序爲 45.2、36.5、26.2、21.5、17.9、16.8 日及 19.8

日。而在番茄上，25℃ 定溫下，由卵發育爲成蟲所需時間爲 17.9 日 (Tsai & Wang, 1996)。

以洋香瓜葉片飼育銀葉粉蝨之生活史觀察 (林等, 2007c)，在 16-28℃ 等定溫時，由卵發育到成蟲需依溫度昇高而縮短，需 15.4-55.3 日。在 30-34℃ 定溫時，發育所需時間依溫度昇高而增長，需 15.8-21.1 日。以 16-28℃ 時溫度與發速率之直線回歸方程式，推算卵-成蟲的發育臨界低溫爲 11.5℃，而自卵發育爲成蟲的發育總積溫 259.807 日度 (degree-days)。另以非線性廻歸模式估算各發育溫度臨界值，其中致死溫度爲 37.635 ± 1.0126℃，由卵發育爲成蟲的發育最適溫度 (optimal temperature) 爲 29.9℃，發育臨界低溫 (low temperature threshold) 爲 9.1℃。

銀葉粉蝨在洋香瓜上的成蟲壽命與繁殖量，根據 Nava-Camberos *et al.* (2001) 的試驗觀察結果，在 30℃ 時，平均每雌蟲一生總產卵量爲 158.3 粒。而 Pai & Chen (1998) 在 28℃ 的飼養於洋香瓜的結果，其平均每雌蟲一生總產卵量爲 104.36 粒，另一飼養於胡瓜者爲 135.71 粒，飼養於花椰菜者爲 91.8 粒。Tsai & Wang (1996) 觀察銀葉粉蝨於 25℃ 時在五種植物上的生活史，平均雌成蟲壽命以在茄子及番茄上者最長分別爲 24.03 日及 20.55 日，其次爲番薯與菜豆，最短者爲爲胡瓜；平均每雌蟲一生總產卵量以在茄子上者最多爲 223.67 粒，在番茄上者次之平均爲 167.55 粒。

病毒與媒介粉蝨之交互作用

研究了解病毒與媒介昆蟲間的交互作用，有助於發展新的管理策略以對抗植物病毒。病毒在粉蝨體內與植物的移動的路徑，以銀葉粉蝨傳播番茄的 *Begomovirus* 爲例，粉蝨以刺吸式口器刺入植物韌皮部，從植物組織液中獲得病毒，進入粉蝨口針的食料腔 (food canal)，經過消化道的食道與前腸。當食物進入濾室 (filter-chamber) 與中腸時，水分被排除移轉至後腸 (hindgut) 的小腸 (ileum)，因此 *Begomovirus* 被濃縮吸附並穿過消化道的細胞膜而進入了昆蟲的血淋巴 (Hemolymph)，病毒再血淋巴內移動直到接觸唾液腺 (Salivary gland) 細胞膜，此時病毒穿過細胞膜並移動至唾液管隨著唾液進入口針的唾液腔，最後被注入至植物細胞 (Hunter *et al.*, 1996, 1998; Ghanim *et al.*, 2001)。*Begomovirus* 病毒被攝食進入粉蝨體內後，並無法立即有感染其他植株的能力，必須依循前述的消化道的循環路徑，完成這個路徑所需時間稱爲潛伏期 (Latent period)。潛伏期的長短與病毒在粉蝨體內傳送的速度無關，關鍵是病毒在粉蝨體內是否累積足夠可以造成植物致病的量 (Henryk, 2007)。潛伏期的長短依試驗條件、病毒種類及寄主而有差異，例如南瓜捲葉病毒 (SLCV) 約 19 h (Cohen, *et al.*, 1983)，黃化捲葉病毒 (TYLCV) 約 8-21 h (Ghanim *et al.*, 2001)。根據報導粉蝨雌蟲在取食番茄黃化捲葉病毒株 4-48 h 後，每隻雌蟲平均可以獲得 0.5-1.6 ng 的黃捲葉病毒的 DNA，平均總量每天約減少 1-2% (Caciagli & Bosco, 1997)

銀葉粉蝨的傳毒能力據文獻報導，銀葉粉蝨取食病株後的獲毒時間 (acquisition)，以番茄黃捲葉病毒 (TYLCV) 爲例，約爲 20-60 min，接種病毒時間

約 10-30 min，潛伏期爲 10-24 h。單隻粉蝨在取食番茄後 24 h 即可傳毒，若同時接種 5-15 隻粉蝨，對蕃茄黃化捲葉病毒或南瓜捲葉病毒，均可以達到 90-100% 傳毒效率 (Jiang *et al.*, 2000; 彭與陳, 2006; Jiu *et al.*, 2006)。粉蝨的性別與年齡均會影響傳毒能力，多數實驗結果證明，在黃化捲葉病毒的傳播以雌蟲較雄蟲具效力，傳毒能力隨蟲齡增加而降低，例如羽化 1-2 星期內的雌蟲在獲毒 48 h 內即可將黃化捲葉病毒傳播出去，羽化 3 星期後的雌蟲僅 60% 具傳毒能力，而同齡雄蟲則完全無傳毒能力。番茄黃化捲葉病毒可以持續存在粉蝨體內 10-12 天，極少數可以維持 20 天以上。此外，病毒不會經卵傳播至子代粉蝨 (Jiu *et al.*, 2006)。銀葉粉蝨成蟲帶番茄黃化捲葉病毒後，相較於未帶毒的成蟲，其生活期望值縮短 17-23%，平均產卵量減少 40-50% (Rubinstein & Czosnek, 1997)。

防治技術與防治策略

由於銀葉粉蝨特殊的生物特性以及傳播病毒種類繁多，植物、病毒及媒介粉蝨間關係相當複雜，針對粉蝨與病原病毒，發展及實施有害生物管理策略 (IPM)，較單一防治法可以更有效解決這個問題。根據 2008 年農業試驗所試驗調查，小果番茄 (紅眞珠品系) 在不同生長期感染番茄黃化捲葉病毒對產量及品質之影響，分別比較其在苗期及定期後 2 週 (花期)、4 週 (結果期)、6 週 (果實成長) 及 8 週 (收穫期) 感染病毒後與健康植株之差異，平均每株番茄生產果實總重量分別爲 10.5、107.8、181.8、496.9、632.5g 及 637.0g；在平均果重上表現爲 1.8、2.4、2.9、3.4、3.7g 及 5.0g。由結果顯示，番茄愈晚罹患黃化捲葉病毒對產量影響愈小，若於苗期感染病毒後，則植株無法正常生長、開花及結果。銀葉粉蝨傳播洋香瓜的南瓜捲葉病毒雖沒有進行與番茄相同的試驗調查，但在田間觀察亦有相似現象，苗期及開花期 (瓜蔓約 60 cm 長) 之前感染病毒，洋香瓜無法正常生長及開花，嚴重影響產量。

基於前項試驗結果，參考綜合粉蝨的生態及傳播病毒的特性，爲防止粉蝨傳播雙生病毒的策略，應著重於作物苗期及栽培初期粉蝨發生密度的管理，由於粉蝨的卵及若蟲均固定在植物體上，只有帶毒的成蟲具傳播擴散的能力，因此，迅速徹底防治成蟲，減少其在植物上產卵，延遲或減緩銀葉粉蝨在田間擴建族群，以避免作物早期感染病毒而造成嚴重損失。透過適當檢測與監測，可以了解帶毒粉蝨發生的數量，掌握後續植物病毒病勢的發展，提早進行防治工作。在防治措施的選擇與整合，掌握所使用的殺蟲劑對田間粉蝨群的毒性，選用毒效高的藥劑，提高防治效益，迅速降低銀葉粉蝨族群密度，爲管理粉蝨減少傳播病毒第一要務。其它結合早熟品種栽培及田間衛生的管理，提供健康的種苗有助於後續防治工作；或發展作物的抗性品系等可作爲防治粉蝨傳播病毒的防治手段。

一、帶毒粉蝨之監測

由於銀葉粉蝨的體型細小，而且藏匿於葉背，族群密度低時很難發現粉蝨的存在，一旦發現粉蝨的危害，往往族群密度已過高到錯失防治的時機。因此建立銀葉粉蝨族群的監測方法，以便早期發現粉蝨的發生，尤其測知帶毒分粉蝨的出

現，可以幫助業者適時的防治粉蝨，以阻斷帶毒銀葉粉蝨傳播病毒感染田間健康植株的途徑，是防治植物病毒危害作物的首要工作。目前分生技術可以快速的檢測粉蝨是否帶毒，但此種監測方法需要設備與人力，一般的栽培農友少有這種能力，因此政府或相關的研究單位應負起監測的責任，如能定期發布相關的監測資料，作爲防治的參考，可以發揮共同防治效果。

目前台灣在檢測及監測帶毒粉蝨的方法，主要爲滾輪式擴增法 (Rolling circle amplification, RCA) 及聚合脢鏈鎖反應 (Polymerase chain reaction, PCR)，兩者均有其優缺點 (廖等, 2010)，例如滾輪式擴增法必須檢測活蟲，而粉蝨體型細小，田間採集相當耗時費力；聚合脢鏈鎖反應雖然靈敏，但不一定可以正確檢測出帶病毒粉蝨。由於黃色黏板不但可以誘集植株上發生的粉蝨，也可誘集鄰近地區的寄主植物上遷飛的粉蝨，農試所等相關試驗單位，曾針對傳播番茄黃化捲葉病毒及南瓜捲葉病毒的媒介粉蝨，開發以黃色黏蟲紙誘集成蟲並以 PCR 檢測其上帶毒粉蝨 (彭與陳, 2006)，作爲監測帶病毒粉蝨密度方法。如以 GCP4/PA4 引子對，可以穩定檢測出黃色黏紙誘集來的粉蝨帶黃化捲葉病毒與否 (林等, 2007a,b)，並可根據帶病毒粉蝨率與黃色黏紙誘得粉蝨成蟲數目估算帶病毒粉蝨之密度。另外針對南瓜黃化捲葉病毒開專一性引子對，監測黏板誘集田間洋香瓜上銀葉粉的帶毒率，也有極高的檢出率，與田間洋香瓜罹南瓜捲葉病毒率相關性。

由於雙生病毒的基因體具高度的變異性，應用分生技術檢測帶病毒粉蝨，往往爲了避免無法檢出變異的病毒而設計簡併式的引子對，可以依次檢測多種病毒。但以田間生態及蟲害管理的角度而言，由於銀葉粉蝨寄主繁多，台灣田間許多植物存在多種雙生病毒，以簡併式引子對在田間粉蝨帶毒率偵測，容易有高估其帶毒率的情形，此種誤差容易造成不當的決策至防治失效或提高生產成本。因此，建議此類分生檢測技術，以開發具高靈敏度、專一性及簡便的技術爲佳 (廖等, 2010)。

根據統計分析田間監測銀葉粉蝨帶毒率與番茄罹患黃化捲葉病毒或洋香瓜罹南瓜捲葉病毒率，兩者線性關係不顯著，故不適合僅以粉蝨帶毒率估算田間的植物罹病率。若將粉蝨帶毒率與平均黏板誘集粉蝨密度之乘積，計算爲帶毒粉蝨數量，統計分析其與植物罹病率，兩者呈正相關，因此，利用帶病毒粉蝨數量較粉蝨帶毒率估算田間洋香瓜罹病率較佳。

二、粉蝨對殺蟲劑之感受性

防治粉蝨的方法很多，如施用殺蟲劑、耕作防治、物理防治及生物防治等等。銀葉粉蝨的自然天敵非常豐富，台灣也紀錄有數種本地銀葉粉蝨的天敵，但是針對防治媒介植物病毒的銀葉粉蝨，生物天敵並不適合做爲防治的主要工具，因爲即使是少量的帶毒粉蝨也會傳播病毒病造成嚴重的損失。利用黃色黏板誘集粉蝨成蟲的物理防治，雖然可以誘殺相當的粉蝨，但是以生物特性而言，雌蟲的最大任務就是尋找寄主植物、繁衍後代及建立族群，因此，寄主植物與黏板相較，植物顯然較具誘引力，在黏紙誘集粉蝨前恐已將病毒傳播至健康植物。利用作物的抗蟲性以降低粉蝨傳播植物病毒病害機會，是許多研究人員的目標之一。然而，

仍有許多抗性品系栽植於田間仍受到銀葉粉蝨傳播的病毒危害，主因爲雙生病毒的基因組極易重組而造成變異，因此如何維持對粉蝨或是病毒一定的抗性仍是一大挑戰。

綜合上述，無疑的以殺蟲劑降低粉蝨密度是最簡便迅速的方法，然而銀葉粉蝨是相當容易誘發抗藥性的害蟲，因此合理的使用殺蟲劑，管理銀葉粉蝨的密度，延緩其抗藥性產生爲重要課題之一。

粉蝨對殺蟲劑的感受性因蟲齡或區域性而有不同，農試所研究人員，在實驗室內以 9.6% 益達胺溶液 1500 倍、2.8% 畢芬寧乳劑 1000 倍、11% 百利普芬乳劑 1000 倍、2% 阿巴汀乳劑 2000 倍、25% 派滅淨可濕性粉劑 1200 倍、10% 克凡派水懸劑 1000 倍、2.4% 第滅寧水懸劑 1000 倍、10% 賽速安水溶性粒劑 4000 倍、25% 布芬淨可濕性粉劑 1000 倍、20% 達特南水溶性粒劑 3000 倍、16% 可尼丁水溶性粒劑 3000 倍、10% 氟尼胺水分散劑 4000 倍、2.1% 因滅汀乳劑 2000 倍及 3.5% 魚藤精乳劑 500 倍等 14 種藥劑稀釋液，測試採集自雲林崙背地區及台南安南地區，洋香瓜上銀葉粉蝨之成蟲、若蟲及卵的毒效。結果顯示 11% 百利普芬乳劑稀釋 1000 倍殺卵效果最佳，達 90% 以上，其他藥劑對銀葉粉蝨殺卵效果甚低。對若蟲的毒性測定，供試藥劑中，僅有以 3.5% 魚藤精乳劑處理崙背地區粉蝨 1-2 齡及 3-4 齡若蟲經 72 小時後之死亡率分別 83.% 及 98.7%，其餘供試藥劑處理後粉蝨若蟲死亡率均低於 30%。安南地區粉蝨 1-2 齡若蟲則以 3.5% 魚藤精乳劑處理經 72 小時後後死亡率爲 45.6%，其餘藥劑處理後粉蝨若蟲死亡率均低於 10%。結果顯示不同地區粉蝨若蟲對殺蟲劑的感受性不同，以崙背地區粉蝨的感受性較高。但魚藤精目前並未登記使用於洋香瓜。對成蟲的毒效測定，以 2.15% 因滅汀乳劑、2% 阿巴汀乳劑、10% 氟尼胺水分散性粒劑、3.5% 魚藤精乳劑及 2.8% 畢芬寧乳劑液處理經 24 小時，粉蝨成蟲死亡率依序爲 97.1、94.9、72.2、67.6% 及 63.9%，其餘藥劑處理 24 小時粉蝨死亡率低於 60%。

綜合藥劑對洋香瓜上銀葉粉蝨各蟲期之毒效測試結果，歸納爲有效遏阻銀葉粉蝨在洋香瓜上傳播南瓜捲葉病毒，應於及早在苗期施藥防治粉蝨，阻斷病毒傳播途徑。施藥時，由於所有的藥劑處理洋香瓜上粉蝨的死亡率甚低，魚藤精不可施用於洋香瓜，爲有效防治粉蝨，於洋香瓜栽培期選擇噴施百利普芬防治粉蝨卵，施用阿巴汀或因滅汀防治粉蝨成蟲，可提高防治效率。

結論與未來展望

銀葉粉蝨與其傳播的病毒之所以在台灣田間猖獗發生，造成農作物重大的損失，除了台灣地理環境及氣候條件極適合粉蝨發生，國際間的貿易活動、植物的移轉往往增加了新病害傳入我國的機會。開發病毒與帶毒粉蝨的檢測與監測分生技術，可以提供在植物檢疫上迅速檢出新病毒杜絕其進入台灣，傳播感染農作物造成重大的損失。田間進行帶毒粉蝨的監測可以掌握植物病毒發生種類及可能的病勢發展，以便及時做好防治工作。歸納造成黃捲葉病毒流行的因素包括：盲目的使用農藥，導致粉蝨產生抗藥性；終年密集栽培粉蝨喜好的作物，而農民面對

銀葉粉蝨的危害，如果過度依賴單一藥劑的防治，往往爲了加強達到防治的目的，因此提高施藥次數或藥劑濃度，卻可能造成加速抗藥性產生的後遺症，如何改善農友用藥習慣有賴各單位人員加強輔導。開發完善的害蟲整合管理技術供農友使用解決問題，爲未來研究重要課題之一。

引用文獻

白桂芳、陳慶忠。1998。銀葉粉蝨在三種寄主植物上之生物特性。臺中區農業改良場研究彙報 58: 33-41。

林鳳琪。2007。銀葉粉蝨傳播之植物病毒病害及其防治策略。植物蟲媒病害與防治研討會專刊 247-256 頁。

林鳳琪、張淑貞、王清玲。2007[a]。銀葉粉蝨傳播番茄黃化捲葉病毒之偵測。植保會刊 49: 355。

林鳳琪、張淑貞、王清玲。2007[b]。番茄黃化捲葉病毒綜合防治可行性之評估。植保會刊 49: 364。

林鳳琪、賴信順、陳秋男。2007[c]。洋香瓜上銀葉粉蝨之發育臨界溫度估算。台灣昆蟲 27: 377-378。

柯俊成、陳秋男、王重雄。2002。煙草粉蝨種群 (*Bemisia tabaci* species complex) 分類學綜述。台灣昆蟲 22: 307-341。

彭瑞菊、陳昇寬。2006。番茄黃化捲葉病毒田間監測及銀葉粉蝨傳毒試驗。台南區農業改良場研究彙報 48: 9-15。

彭瑞菊、鄭安秀。2003。台南區番茄病毒病的種類及分佈。台南區農業專訊 44: 15-18。

彭瑞菊、陳昇寬、鄭安秀。2009。洋香瓜病毒病害及其防治方法。農業世界 315: 51-64。

廖吉彥、鄧汀欽、林鳳琪、黃莉欣、彭瑞菊、陳宗祺、賴儀瑾、陳信宏、宋明彥、胡仲祺。2010。台灣中南部瓜類作物與粉蝨中雙生病毒之監測與其基因體變異性分析。農業試驗所特刊 149: 205-226。

鄧汀欽、鄭櫻慧、廖吉彥。2009。感染洋香瓜的病毒種類與病害流行趨勢。技術服務季刊 78: 9-11。

Barinaga, M. 1993. Is devastating whitefly invader really a new species? Science 259: 30.

Bellows, T. S., T. M. Perring, Jr., R. J.Gill, and D. H. Headrick. 1994. Description of a species of *Bemisia* (Homoptera: Aleyrodidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 87: 195-206.

Byrne, D. N., and W. B. Miller. 1990. Carbohydrate and amino acid composition of phloem sap and honeydew produced by *Bemisia tabaci*. J. Insect Physiol. 36: 433-439.

Caciagli, P., and D. Bosco. 1997. Quantitation over time of tomato yellow leaf curl geminivirus DNA in its whitefly vector. Phytopathology 87: 610-613.

Campbell, B. C., J. E. Duffus, P. Baumann, A. C. Bartlett, and N. J.Gawel. 1993.

Determining whitefly species. Science 261: 1333.

Chang, L. S., Y. S. Lee, H. J. Su, and T. H. Hung. 2003. First Report of *Papaya leaf curl virus* Infecting Papaya Plants in Taiwan. Plant Dis. 87: 204.

Cohen, S., J. E. Duffus, R. C. Larsen, H. Y. Liu, and R. A. Flock. 1983. Purification, serology, and vector relationships of *Squash leaf curl virus*, a whitefly-transmitted geminivirus. Phytopathology 73: 1669-1673.

De Barro, P. J., and P. J. Hart. 2000. Mating interactions between two biotypes of the whitefly, *Bemisia tabaci* in Australia. Bull. Entomol. Res. 90: 103-112.

Frohlich, D. R., I. Torres-Jerez, I. D. Bedford, P. G. Markham, and J. K. Brown. 1999. A phylogeographical analysis of the *Bemisia tabaci* species complex based on mitochondrial DNA markers. Mol. Ecol. 8: 1683-1691.

Ghanim, M., S. Morin, and H. Czosnek. 2001. Rate of Tomato Yellow Leaf Curl Virus (TYLCV) Translocation in the circulative transmission pathway of its vector, the whitefly *Bemisia tabac*i. Phytopathology 91: 188-196.

Green, S. K., W. S. Tsai, S. L. Shih, Y. C. Huang, and L. M. Lee. 2005. Diversity of geminiviruses of tomato and weed in Asia. Proceedings of the International Seminar on Whitefly Management and Control Strategy. p 19-66.

Hunter, W. B., E. Hilebert, S. E. Webb, J. E. Polston, and J. H. Tsai. 1996. Precibarial and cibarial chemosensilla in the whitefly, *Bemisia tabaci* Gennadius (Homoptera: Aleyrodidae). Int. J. Insect Morphol. Embryol. 25: 295-304.

Hunter, W. B., E. Hilebert, S. E. Webb, J. H. Tsai, and J. E. Polston. 1998. Location of Geminiviruses in the whitefly *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). Plant Dis. 82: 1147-1151.

Jiang, Y. X., C. de Blas, L. Barrios, and A. Fereres. 2000. Correlation between Whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) feeding behavior and transmission of tomato yellow leaf virus. Ann. Entomol. Soc. Am. 93: 573-579.

Jiu, M., X. P. Zhou, and S. S. Liu. 2006. Acquisition and transmission of two Begomoviruses by the B and a non-B biotype of *Bemisia tabaci* from Zhejiang, China. Phytopathology 154: 587-591.

Jones, D. R. 2003. Plant viruses transmitted by whiteflies. Eur. J. Plant pathol. 109: 195-219.

Ko, C. C., S. C. Chang, and C. C. Hu. 2005. Survey of the whitefly status and their transmission of plant viruses in Taiwan. Proceedings of the International Seminar on Whitefly Management and Control Strategy. p 109-131.

Lemonick, M. D. 1991. Invasion of the superbug. Time Nov. 25: 84.

Liao, J. Y., C. C. Hu, T. K. Lin, C. A. Chang, and T. C. Deng. 2007. Identification of Squash leaf curl Philippines virus on Benincasa hispida in Taiwan. Plant Pathol. Bull. 16: 11-18.

Martin, J. H. 1999. The whitefly fauna of Australia (Sternorrhyncha: Aleyrodidae): A taxonomic account and identification guide. CSIRO Entomol. Tech. Paper No 38. 197 pp.

Nava-Camberos, U., D. G. Riley, and M. K. Harris. 2001. Temperature and host plant effects on development, survival, and fecundity of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae). Environ. Entomol. 30: 55-63.

Perring, T. M. 2001. The *Bemisia tabaci* species complex. Crop Prot. 20: 725-737.

Perring, T. M., A. D. Cooper, R. J. Rodriguez, C. A. Farrar, and T. S. Bellows, Jr. 1993. Identification of a whitefly species by genomic and behavioral studies. Science 259: 74-77.

Powell, D. A., and T. S. J. Bellows. 1992. Preimaginal development and survival of *Bemisia tabaci* on cotton and cucumber. Environ. Entomol. 21: 359-363

Rosell, R. C., I. D. Bedford, D. R. Frohlich, R. J. Gill, J. K. Brown, and P. G. Markham. 1997. Analysis of morphological variation in distinct populations of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 90: 575-589.

Rubinstein, G., and H. Czosnek. 1997. Long-term association of tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) with its whitefly vector *Bemisia tabaci*: effect on the insect transmission capacity, longevity and fecundity. J. Gen. Virol. 78: 2683-2689.

Summers, C. G., A. S. Newton, Jr., and D. Estrada. 1996. Intraplant and interplant movement of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) crawlers. Environ. Entomol. 25: 1360-1364.

Tsai, J. H., and K. Wang. 1996. Development and reproduction of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) on five host plants. Environ. Entomol. 25: 810-816.

Wang, K., and J. H. Tsai. 1996. Temperature effect on development and reproduction of silverleaf whitefly (Homoptera: Aleyrodidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 89: 375-384.

Silverleaf whitefly vector for geminiviruses on vegetables and their control

Feng-Chyi Lin[1,4] Shu-Chen Chang[1] Ying-Huey Cheng [2]
Chin-Ling Wang[1] and Chung-Chi Hu[3]

[1] Applied Zoology Division, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.
[2] Plant Pathology Division, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.
[3] Graduate Institute of Biotechnology, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC.
[4] Corresponding author, e-mail: fclin@tari.gov.tw

Abstract

The silverleaf whitefly (*Bemisia argentifolii* Bellow & Perring), the B-type of *Bemisia tabaci* complex, is the most superior whitefly species in Taiwan. There are more than 111 *Begomovirus* (Family Geminiviridae) species transmitted by silverleaf whitefly globally. Among them seven begomoviruses reportedly existed in Taiwan, especially *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV) and *squash* l*eaf curl virus* (SLCV) that seriously cause yield loss on tomato and cantaloupe. It is inefficient to control silverleaf whitefly with insecticides in the flied since their toxicity to its eggs and larvae are low. Tomato plants-infected by Geminiviruses during the seeding stage were unable to grow, bloom and set fruits normally. Therefore, an effective and suitable control tactic applied during the early planting period is imperative in order to reduce the population density of silverleaf whitefly and hence the reduction of Geminiviruses-infected tomato plants in net houses. This article describes the taxonomy, ecological habitats, virus transmission mechanism of silverleaf whitefly as well as the detection of silverleaf whitefly that carries the viruses and the effective control strategies for silverleaf whitefly.

Key words: *Bemisia argentifolii*, Geminiviridae, *Tomato yellow leaf curl virus*, *Squash* l*eaf curl virus*, control.

粉蝨傳播 criniviruses 之生物學及其防治策略

李如婷[1] 黃莉欣[1,2]

[1]行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所
[2]通訊作者，電子郵件：lhhuang@tactri.gov.tw

摘 要

Crinivirus 屬爲一種 RNA 植物病毒，屬於 *Closteroviridae* 科，爲引起萵苣、葫蘆科、番茄等蔬果類上重要的病毒病害。Criniviruses 是由粉蝨以半持續性方式傳播，獲毒後，保毒時間約數日至數週，與其獲毒時間長短有關。全世界已記錄 *Crinivirus* 屬有 14 種，其媒介粉蝨有溫室粉蝨 (*Trialeurodes vaporariorum*)、帶翅粉蝨 (*T. abutilonea*) 及煙草粉蝨 (*Bemisia tabaci*) A、B、Q 等三型生物小種。國內已報導 *Crinivirus* 屬種類有 *Tomato infectious chlorosis virus* (TICV)、*Tomato chlorosis virus* (ToCV) 和 *Cucurbit chlorotic yellows virus* (CCYV) 等三種，其中以 CCYV 發生最爲嚴重，由煙草粉蝨 B 型生物小種所傳播，2009 年首見於臺灣，2010 年造成洋香瓜、甜瓜、胡瓜等葫蘆科作物之經濟產值嚴重的損失。爲了減緩植物病毒病害的發生與蔓延，應選擇無帶毒種苗來種植，而加強粉蝨蟲媒的防治是最重要的防範策略，殺蟲劑的使用是最有效且快速的防治手段，再配合黃色黏紙作爲輔助工具誘捕粉蝨成蟲，將可以減少粉蝨傳播病毒的機會。

關鍵詞：*Crinivirus*、粉蝨蟲媒、煙草粉蝨、溫室粉蝨、帶翅粉蝨、生物小種

前 言

粉蝨爲半翅目 (Hemiptera)、胸喙亞目 (Sternorrhyncha)、粉蝨總科 (Aleyrodoidea)、粉蝨科 (Aleyrodidae) 之刺吸式口器昆蟲，分布於熱帶、亞熱帶、溫帶地區。全世界已記錄的粉蝨有 1556 種，分屬於 161 屬 (Martin and Mound, 2007)。煙草粉蝨 (*Bemisia tabaci*) 外部形態的變異往往受其寄主植物的影響，由於寄主植物種類繁雜，故煙草粉蝨被認爲是一個複合種群 (species complex)，目前至少有 24 型生物小種 (biotype) (Ko *et al.*, 2002; De Barro *et al.*, 2011)。煙草粉蝨於 1970 年代在蘇丹新浮現之後，1980 年代煙草粉蝨 biotype B 在美國被發現之後，因寄主範圍不斷地擴增，而快速地擴散至世界各地，除直接爲害寄主植物外，也是重要植物病毒的媒介如番茄捲葉病毒 (*Tamoto leaf curl virus*)，至今已成爲全世界農作物上極具威脅的重要害蟲 (Jones, 2003; De Barro *et al.*, 2011)。1993 年煙草粉蝨 biotype B 被提升爲一新種，命名爲銀葉粉蝨 (silverleaf whitefly, *Bemisia argentifolli* Bellows & Perring) (Bellows *et al.*, 1994)。之後，銀葉粉蝨之分類地位被受到質疑，多位學者以體型、生殖力、寄主範圍、生化等方法研究結果均認爲煙草粉蝨 biotype B 不適合提升爲一新種，認爲仍應以煙草粉蝨 biotype B 來稱之較

爲適當 (De Barro *et al.*, 2011)。

粉蝨傳播的病毒種類已記錄者約 114 種，其中雙生病毒科 (*Geminiviridae*) 之 *Begomovirus* 佔 90%，*Closteroviridae* 之 *Crinivirus* 屬約佔 6%，另外的 4% 則屬於*Closterovirus*、*Ipomovirus* 及 *Carlavirus* (Jones, 2003)。然而，1556 種的粉蝨中僅有二屬 4 種可傳播植物病毒，分別爲 *B. tabaci*、*Trialeurodes vaporariorum* (greenhouse whitefly)、*T. abutilonea* (banded wing whitefly)、*T. ricini* (Wisler & Duffus, 2001; Jones, 2003)，其中以 *B. tabaci* 傳播的病毒種類較多樣化。

Crinivirus 屬病毒屬於 *Closteroviridae* 科之 RNA 植物病毒，其病毒顆粒爲長絲狀(650-900 nm)，具有兩條單股正極性 RNA，爲一種韌皮部侷限性病毒 (phloem-limited virus) (Wisler *et al.*, 1998a; Martelli *et al.*, 2002)。全世界已記錄 *Crinivirus* 屬種類有 14 種 (Wisler *et al.*, 1998a; Wisler & Duffus, 2001; Martelli *et al.*, 2002; Segundo *et al.*, 2004; Gyoutoku *et al.*, 2009)，均由粉蝨以半持續方式傳播。1998 年國內首度在百日草及番茄上發現疑似 *Crinivirus* 屬病毒感染的病徵，經鑑定爲 *Tomato infectious chlorosis virus* (TICV) 與 *Tomato chlorosis virus* (ToCV) (Tsai *et al.*, 2004)。2009 年 5 月中旬於雲林縣崙背鄉發現洋香瓜全園發生黃化現象，病徵爲葉片褪綠、黃化，葉脈則呈綠色。6-7 月陸續又在崙背、二崙、褒忠等地區的洋香瓜及美濃瓜園內發現類似病徵，經核酸分析及比對後，與日本於 2004 年首次發現的新病毒種 - 瓜類褪綠黃化病毒 (*Cucurbit chlorotic yellows virus*, CCYV) (Gyoutoku *et al.*, 2009) 之 Hsp 62h gene 部分序列具 100% 相同性，2010 年 CCYV 重創中南部洋香瓜及甜瓜產業，導致瓜農損失慘重，銀葉粉蝨 (亦即 *B. tabaci* biotype B) 爲最主要的蟲媒 (Huang *et al.*, 2010)。*Crinivirus* 屬爲近十多年新興的植物病毒，其所造成的危害損失爲全球所重視，本文將簡單介紹 criniviruses 的種類及其蟲媒種類與傳播特性，以提供國內推廣人員田間調查時的參考，也期能從粉蝨傳播的特性來宣導粉蝨防治的重要性，將病毒病害之危害損失降至最低。

Crinivirus 屬分類地位與遺傳特徵

Closterovirus 群之病毒顆粒屬長絲狀，是植物病毒中顆粒最長者，長度約 1200-2000 nm，病毒寄生在韌皮部細胞內。由於新的病毒種類不斷被發現，closterovirus 群於 1996 年被升格成爲 *Closteroviridae* 科 (Pringle, 1996)。根據病毒顆粒型態與基因組成分類爲 *Closterovirus* 與 *Crinivirus* 兩屬。*Closterovirus* 屬的病毒顆粒爲較長的絲狀 (1200-2200 nm)，屬於單條 RNA 基因體 (monopartite genomes)，由蚜蟲以半持續性方式傳播，其模式種爲 *Beet yellows virus* (BYV)。*Crinivirus* 屬則爲較短的絲狀 650-900 nm，具兩條單股正極性 RNA 基因體 (bipartite genomes)，媒介昆蟲爲粉蝨，模式種爲 *Lettuce infectious yellows virus* (LIYV) (Martelli *et al.*, 2002)。由於分子生物學的進步，使吾等對各種病毒的特性更加瞭解，Karasev (2000) 認爲 closterovirus 群的分類不應只考慮病毒顆粒形態與 RNA 基因組的數目，其傳播媒介昆蟲種類也應列入分類的依據，並提出第三個屬 *Vinivirus*，此屬以 *Grapevine leafroll-associated virus* 3 (GLRaV-3) 爲模式種，藉由粉介殼蟲來傳播，本屬名稱取自於葡萄學名 *Vitis vinifera*，乃因葡萄爲 GLRaV-3 的自然寄主。2002

年經國際病毒分類命名委員會 (International Committee on Taxonomy of Viruses, ICTV) 討論後，認爲 *Vinivirus* 屬易與 *Flexiviridae* 科中的 *Vitivirus* 屬混淆，因此，將 *Vinivirus* 正式改稱爲 *Ampelovirus* 屬 (*ampelos*，爲希臘語葡萄之意) (Martelli *et al.*, 2002)。

Crinivirus 屬的兩條 RNA 基因組分別命名爲 RNA1 (約 8 kb) 及 RNA2 (約 7 kb)，其 5' 端有甲基化 cap，3' 端則不具 poly (A) tail。RNA1 轉譯出的蛋白與複製有關，RNA2 轉譯出的蛋白則與病毒顆粒結構、病毒在宿主內移動及媒介昆蟲傳播有關 (Klaassen *et al.*, 1995; Tian *et al.*, 1999; Ng & Falk, 2006)。RNA1 具有兩個轉譯架構 (open reading frames, ORFs)，可對應產生三個蛋白。ORF1a 對應產生一 polyprotein (217 kDa)，含有 papain-like protease (P-Pro)、methyltransferase (MT) 與 helicase (HEL)；ORF1b 爲 RNA-dependent RNA polymerase (RdRp) (55 kDa) (Karasev, 2000; Ng *et al.*, 2004)；以及一個大約 32 kDa 功能不詳的蛋白。RNA2 包含 *Closteroviridae* 科的五個高保留性 " hallmark gene array"，對應產生一個約 6 kDa 的疏水性蛋白 (P6)、熱休克同源性蛋白 (Hsp70h)、約 60 kDa 蛋白 (P60)、外鞘蛋白 (CP) 及次要外鞘蛋白 (CPm) (Karasev, 2000)。以 *Closterovirus* 屬之 BYV 爲例，P6、P64、Hsp70h 及兩個結構性蛋白 (CP 和 CPm) 與細胞間 (cell-to-cell) 移動有關 (Alzhanova *et al.*, 2000)。P6 爲細胞間移動蛋白與病毒複製和組裝無關 (Alzhanova *et al.*, 2000; Alzhanova *et al.*, 2001)。CP 包裹病毒 RNA 基因體組裝絲狀病毒顆粒，CPm 與病毒顆粒端點結合形成 “rattlesnake tail”，此爲 *Closteroviridae* 科共同的特徵 (Tian *et al.*, 1999; Satyanarayana *et al.*, 2004)。Hsp70h 和 P60 有助於病毒顆粒 tail 形成，並包裹於病毒 RNA 的 5' 端 (Tian *et al.*, 1999; Peremyslov *et al.*, 2004; Satyanarayana *et al.*, 2004; Dolja *et al.*, 2006; Ng & Falk, 2006; Alzhanova *et al.*, 2007)。

Criniviruses 之種類、寄主植物與其媒介昆蟲種類

Crinivirus 屬病毒已記錄種類有 14 種 (表1) (Wisler *et al.*, 1998a; Wisler & Duffus, 2001; Martelli *et al.*, 2002; Segundo *et al.*, 2004; Gyoutoku *et al.*, 2009)，其中 *Tomato infectious chlorosis virus* (TICV)、*Tomato chlorosis virus* (ToCV) 及 *Cucurbit chlorotic yellows virus* (CCYV) 等三種在國內已有記錄 (Tsai *et al.*, 2004; Huang *et al.*, 2010)。目前已記錄可傳播 criniviruses 的粉蝨種類有 *B. tabaci*、*T. vaporariorum*、*T. abutilonea* 三種 (表1)；其中 *B. tabaci* 爲大部分 criniviruses 的蟲媒，包括 3 個生理小種，分別爲 biotype A (又稱 sweet potato whitefly)、biotype B (silverleaf whitefly) 及 biotype Q (Wisler & Duffus, 2001; Gyoutoku *et al.*, 2009; Okuda *et al.*, 2010; Martín *et al.*, 2011)，不同生理小種也扮演不同 criniviruses 種類的蟲媒。以下簡單介紹幾個重要 criniviruses 之寄主範圍及其媒介昆蟲種類。

1. *Beet pseudo-yellows virus* (BPYV)：是首度被報導由粉蝨傳播的 *Closteroviridae* 科，該病毒是由溫室粉蝨 (*T. vaporariorum*) 所傳播 (Duffus, 1965)。寄主範圍相當廣泛，舉凡一般作物、花卉、雜草等均被列入寄主植物，如萵苣、甜菜、洋薊、煙草、胡瓜等 (Wisler *et al.*, 1998a)。

2. *Cucurbit yellow stunting disorder virus* (CYSDV)：於 1982 年首次在阿拉伯聯合國發現，其病徵與 BPYV 極爲相似，於 1996 年才被正式命名，是由煙草粉蝨 biotype A 與 biotype B 所傳播。寄主植物主要爲葫蘆科 (Célix *et al.*, 1996; Tian *et al.*, 1996; Wisler *et al.*, 1998a)， 2009 年報導 CYSDV 也可以感染其他的植物種類，如莧科 (Amaranthaceae) 的紅根豬草 (*Amaranthus retroflexus*)、*Bassia hyssopifolia*；十字花科 (Brassicaceae) 的 *Sisymbrium irio*；藜科 (Chenopodiaceae) 的 *Chenopodium album*；菊科 (Compositae) 的萵苣 (*Lactuca sativa*)、苦苣菜 (*Sonchus sp.*)；蝶形花科 (Fabaceae) 的苜蓿 (*Medicago sativa*)、四季豆 (*Phaseolus vulgaris*)；錦葵科 (Malvaceae) 的圓葉錦葵 (*Malva neglecta*)、*Sida hederacea*；茄科 (Solanaceae) 的燈籠草 (*Physalis wrightii*)、銀葉茄 (*Solanum elaeagenifolium*) 等 (Wintermantel *et al.*, 2009)。
3. *Lettuce infectious yellows virus* (LIYV)：於 1981 年在美國加州及亞利桑那州被發現，也是第一個最早在萵苣上發現的 criniviruses，此病毒在 1980 年代及 1990 年代初期造成甜菜及葫蘆科作物嚴重的經濟損失。LIYV 的寄主植物種類多，已記錄種類有 15 科 45 種植物。1980 年代中期前，煙草粉蝨主要爲 biotype A，1980 年代末期銀葉粉蝨 (*B. argentifolii*) (爲煙草粉蝨 biotype B) 竄起，1990 年代中期銀葉粉蝨族群密度迅速上升，約爲 1980 年代的 1,600 倍，田間煙草粉蝨 biotype A 族群則被 biotype B 所取代，使得 LIYV 的發生率明顯降低，發生率低於 0.1%。LIYV 雖仍存在於田間，但對經濟作物並未再造成威脅 (Wisler *et al.*, 1998a; Wisler & Duffus, 2001)。
4. *Lettuce chlorosis virus* (LCV)：LIYV 發生率式微後，LCV 則取而代之。寄主植物爲萵苣及甜菜二種，LCV 並不會感染葫蘆科植物。其傳播蟲媒爲煙草粉蝨 biotype A 與 biotype B 二種 (Duffus *et al.*, 1996)。目前 LCV 在美國對萵苣及甜菜產業並不會造成顯著的經濟損失。
5. *Tomato infectious chlorosis virus* (TICV)：是第二個被確認具 bipartite genomes 的 criniviruses，也是首度被報導 criniviruses 可感染番茄 (Wisler *et al.*, 1996b)。寄主植物尚有 bristly oxtongue (*Picris echioides*)、煙草 (*Nicotiana glauca*)、野洋薊 (*Cynara cardunculus*)及一些花卉如翠菊 (China aster)、牽牛花 (petunia)、毛茛屬植物等 (ranunculus) (Wisler *et al.*, 1996b; Wisler *et al.*, 1998a)。傳播蟲媒僅有溫室粉蝨一種 (Wisler *et al.*, 1996b)。
6. *Tomato chlorosis virus* (ToCV)：爲繼 TICV 之後，被發現可爲害番茄的 criniviruses。其寄主範圍與 TICV 相似，共計 7 科 24 種植物，包括農作物、花卉、雜草等 (Wisler *et al.*, 1998a; Wisler & Duffus, 2001)。目前 *Crinivirus* 屬中僅 ToCV 可被 4 種粉蝨傳播，分別爲 *T. vaporariorum*、*T. abutilonea*、*B. tabaci* biotype A 與 biotype B (Wisler *et al.*, 1996a; Wisler *et al.*, 1998b)。
7. *Sweet potato chlorotic stunt virus* (SPCSV)：最早發生在奈及利亞，經常與 *sweet potato feathery mottle virus* (SPFMV) 複合感染甘薯，其寄主植物目前僅記錄甘薯 (*Ipomoea batatas*) 一種 (Schaefers & Terry, 1976)；蟲媒爲 *B. tabaci* (Cohen *et al.*, 1992)。

8. *Bean yellow disorder virus* (BnYDV)：於 2003 年在西班牙的四季豆 (*Phaseolus vulgaris*) 上首次被發現，此也爲第一次發現 *Crinivirus* 屬可感染豆科 (Leguminosae) 的報導 (Segundo *et al.*, 2004)。經室內接種試驗顯示，BnYDV 並不會感染茄科及葫蘆科植物。*B. tabaci* biotype Q 爲其蟲媒 (Martín *et al.*, 2011)。
9. *Abutilon yellows virus* (AbYV)：經由 *T. abutilonea* 傳至茼麻 (*Abutilon theophrasti*) 雜草上，但 AbYV 尚未發現可感染經濟作物 (Wisler & Duffus, 2001)。
10. *Cucurbit chlorotic yellows virus* (CCYV)：2004 年於日本九州熊本縣溫室栽培的香瓜上發現葉脈呈綠色、葉片黃化的病徵，與 CYSDV 的病徵類似，經核酸序列解序比對後，爲一新興的 *Crinivirus* 屬病毒。陸續又在佐賀縣、宮崎縣、長崎縣等地區發現 (Gyoutoku *et al.*, 2009)。台灣及大陸也於 2009 年發現本病毒 (Huang *et al.*, 2010; Gu *et al.*, 2011; Zeng *et al.*, 2011)。依據 Okazaki *et al.* (2008) 田間調查及室內接種試驗結果顯示，田間自然感染的植物有哈密瓜、小黃瓜、西瓜；以粉蝨接種成功的植物有 9 科 33 種，如葫蘆科 (哈密瓜、小黃瓜、南瓜、苦瓜、蒲瓜、胡瓜、冬瓜、西瓜等)；茄科 (*Datura* 屬及 *Nicotiana* 屬)；藜科 (波菜、*Chenopodium amaranticolor*、*C. quinoa*)；蝶形花科 (豌豆)；旋花科 (牽牛花)；唇形科 (寶蓋草 *Lamium amplexicaule*)；石竹科 (球序卷耳草 *Cerastium glomeratum*) 等。國內寄主植物種類調查目前僅發現葫蘆科作物可被感染 (Huang *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2010)。傳播本病毒之粉蝨種類爲 *B. tabaci* biotype B 及 biotype Q (Gyoutoku *et al.*, 2009; Tseng *et al.*, 2009)。

粉蝨傳播 criniviruses 之特性

粉蝨成蟲與若蟲屬韌皮部取食者，將口針沿著細胞間隙進入細胞內而到達韌皮部，取食時藉改變頭部的位置來使力，以協助口針於穿過細胞而到達韌皮部吸食植物的汁液 (Brown & Czosnek, 2002)。以 *B. tabaci* biotype B 爲例，粉蝨取食過程僅有 64% 的機會會到達韌皮部，約 50% 在葉組織細胞間或表皮上穿刺 (Cohen *et al.*, 1998)，因此，葉部上絨毛的多寡、腺體存在與否、維管束的密度及葉齡等特徵都是影響粉蝨選擇偏好的寄主植物種類的因子 (Janssen *et al.*, 1989; Lei *et al.*, 1998; Chu *et al.*, 2000)。通常粉蝨取食時先在寄主植物上漫步並以口針刺探維管束的位置，若是較爲偏好的寄主植物，取食韌皮部的時間則較長 (Lei *et al.*, 1999)，例如煙草粉蝨需要 15-30 分鐘才能到達韌皮部取食，因此，取食時間的長短也將影響傳播植物病毒的能力 (Jiang *et al.*, 2000)。依據研究觀察顯示，粉蝨雌蟲傳毒能力高於雄蟲 (Cohen & Nitzany, 1966; Brown & Czosnek, 2002)。

粉蝨以半持續性方式傳播 criniviruses，其獲毒及傳毒的時間應只有數秒至數分鐘，其獲毒時間的長短與獲得病毒的機率呈正相關，由於 criniviruses 不會在粉蝨體內複製繁殖，故病毒並不會在體內累積，一般而言，保毒時間約數日至數週，(Wisler *et al.*, 1998a; Wisler & Duffus, 2001; Brown & Czosnek, 2002)。粉蝨蟲媒與 criniviruses 的作用機制目前尚不是很清楚，僅得知病毒顆粒中之 minor capsid protein (CPm) 是決定病毒能否被傳播的決定因子 (Tian *et al.*, 1999)，其在蟲媒體

內的位置也尚未清楚，推測前腸將是病毒顆粒主要貼附的位置。

不同粉蝨蟲媒傳播不同種類 criniviruses 的效能不同，即使同一種病毒由不同種類的粉蝨傳播效能也略有差異。

1. *Beet pseudo-yellows virus* (BPYV)：*T. vaporariorum* 對 BPYV 獲毒 1 h 後，給予 6 h 接種傳毒的時間，其傳播效率約 70%，可連續傳毒 6 天。單隻粉蝨的傳毒率爲 10%， 40 隻帶毒粉蝨接種於一株寄主植物上則有 83% 的傳播率 (Duffus, 1965)。BPYV 在溫室粉蝨體內的保毒時間約 7 天，其半衰期爲 64 h (Wisler *et al.*, 1998a)。
2. *Cucurbit yellow stunting disorder virus* (CYSDV)：*B. tabaci* biotype B 單隻粉蝨對 CYSDV 的傳播率僅 3%，若提高至 60 隻粉蝨，其傳毒率可達 85%。給予較長的獲毒時間，可以提高傳播率，如給予 18 h 以上的獲毒時間，24 h 的接種時間或更長，其傳播率則高於 80%。研究顯示 biotype B 的傳播能力高於 biotype A。病毒留存在 biotype B 體內至少 9 天。粉蝨傳播 CYSDV 的效能雖稍低於傳播其他的病毒種類，但 CYSDV 在粉蝨體內保毒期間長，且半衰期可長達 72.2 h，均高於其他病毒種類 (Wisler *et al.*, 1998a; Wisler & Duffus, 2001)。
3. *Lettuce infectious yellow virus* (LIYV)：由 *B. tabaci* biotype A 來傳播。LIYV 僅能留在 biotype A 體內約 3 天，其半衰期爲 23.5 h。單隻帶毒粉蝨之傳播率爲 22%，40 隻帶毒粉蝨之傳播率可達 100%。Biotype A 取食罹病株 10 min 後，便可傳毒，獲毒時間愈久，傳毒能力則愈強，如獲毒時間從 1 h 至 48 h，其傳播率則由 68% 提高至 87% (Duffus *et al.*, 1986; Wisler *et al.*, 1998a)。
4. *Lettuce chlorosis virus* (LCV)：*B. tabaci* biotype A 傳播 LCV 的效率較 biotype B 稍高，單隻 biotype A 的傳毒率爲 2.9%，40 隻則爲 74.3%，而 30 隻 biotype B 之傳毒率則爲 0-57.5% (Duffus *et al.*, 1996)。粉蝨獲毒閥值 (acquisition threshold) 爲 1 h，獲毒時間愈久，傳播成功率更高，當獲毒時間爲 3-48 h 時，其傳播成功率則爲 4-96%。其保毒時間爲 4 天，半衰期則爲 46.4 h (Wisler & Duffus, 2001)。
5. *Tomato infectious chlorosis virus* (TICV)：*T. vaporariorum* 獲毒 1 h 以上才能順利傳播 TICV，隨著獲毒時間的增加，傳播能力也隨之增加。單隻帶毒粉蝨傳播率僅有 8%，以 40 隻帶毒粉蝨共同傳播時其傳播率爲 83% (Duffus *et al.*, 1994)。帶毒粉蝨之保毒時間爲 3-4 天，半衰期則爲 23.5 h (Wisler *et al.*, 1998a)。
6. *Tomato chlorosis virus* (ToCV)：*T. vaporariorum*、*T. abutilonea*、*B. tabaci* biotype A 與 biotype B 等 4 種粉蝨均爲 ToCV 的媒介昆蟲 (Wisler *et al.*, 1996a; Wisler *et al.*, 1998b)，4 種粉蝨傳播能力有很大的差異，以 *B. tabaci* biotype B 的傳毒能力最高，單隻帶毒 biotype B 傳播率爲 12.5%，40 隻的傳播率提高至 98%，而 *T. abutilonea* 單隻的傳播率爲 7.5%，40 隻則有 100% 的傳播率，顯示此二種粉蝨對 ToCV 的傳播能力相當。單隻及 40 隻帶毒 *B. tabaci* biotype A 的傳播率爲 0-68%，稍低於前二種粉蝨；*T. vaporariorum* 的傳播效

率最低，僅 0-28% (Wisler & Duffus, 2001) 。

7. *Sweet potato chlorotic stunt virus* (SPCSV)：*B. tabaci* 傳播 SPCSV 的效率隨著帶毒蟲數的增加而增加，每株甘薯接種 10-50 隻帶毒粉蝨時，其傳播率爲 12.5-93.8%，獲毒 1 h 者其傳毒率爲 20.8%，當獲毒時間提高至 24 h，其傳播率也提高至 87.5%，相對地，接種時間愈長，傳播效率也隨之增加，接種 1 h 及 24 h 者，其傳毒率分爲 15.6% 及 84.3% (Cohen *et al.*, 1992)。
8. *Bean yellow disorder virus* (BnYDV)：*B. tabaci* biotype Q 取食罹病植株 3 h 及 7 h 後，有 50% 及 100% 的粉蝨成蟲可獲取病毒，而接種 12 h 及 24 h 者，其傳毒成功率分別達 66 及 100%。單隻帶毒粉蝨之傳播率爲 37%，保毒時間最長可達 2 週，半衰期長達 9 天 (Martín *et al.*, 2011)。爲目前 criniviruses 種類中在粉蝨體內保毒時間及半衰期最長的種類。

國內 criniviruses 之危害及發生情形

1998 年於台灣南部的番茄及百日草上發現其葉片呈黃化、褪綠，甚至脆化的病徵，且葉片上粉蝨密度極高，疑似感染 criniviruses 的病徵。將病葉以電子顯微鏡觀察，其病毒顆粒呈長絲狀，長度約 800-850 nm，另以 TICV 和 ToCV 探針進行雜合反應檢測，檢測結果顯示，番茄確實感染 ToCV，百日草則受到 ToCV 和 TICV 感染。此爲台灣首度發現 *Crinivirus* 屬的案例，也是 ToCV 和 TICV 兩種病毒於臺灣首次的記錄 (Tsai *et al.*, 2004)。

2009 年 5 月中旬於台灣雲林崙背地區發現洋香瓜全園發生黃化現象，其植株基部葉片褪綠、黃化、甚至白化易脆，但葉脈仍呈綠色，新葉則出現黃色斑點等病徵 (圖 1)，6-7 月陸續又在雲林和彰化地區的洋香瓜、胡瓜、西瓜、蒲瓜和南瓜園內發現類似病徵，且田間銀葉粉蝨密度極高。罹病組織於電子顯微鏡下觀察發現長絲狀病毒顆粒 (700-900 nm) (Tseng *et al.*, 2009)，經文獻查詢，疑似遭受 CYSDV 的危害，遂以針對 *Closterovirus* 及 *Crinivirus* 所設計之簡併性引子對進行巢式反轉錄-聚合酶鏈鎖反應 (nested reverse transcription-polymerase chain reaction, nested RT-PCR) (Dovas & Katis, 2003)，所增幅的片段爲 Hsp70h 的部分片段，經定序及比對分析得知與日本所發現的新興病毒 *Cucurbit chlorotic yellows virus* (CCYV) 有 100 % 的相似度，此爲台灣首度發現 CCYV 的記錄 (Huang, 2010)。

目前台灣受 CCYV 感染的地區包含苗栗、彰化、雲林、台中、南投、嘉義、台南、高雄、屏東和台東，幾乎遍及全台灣，其危害葫蘆科作物包括洋香瓜、西瓜、香瓜、越瓜、冬瓜、瓠瓜、胡瓜、小黃瓜、絲瓜和南瓜等 (Li *et al.*, 2010)。經田間觀察，洋香瓜、甜瓜及胡瓜爲 CCYV 較偏好的寄主植物。種植後約 3 週 - 1 個月期間，病徵才會明顯出現，結果期罹病者，將影響果實的風味，也影響後續的結果率，且罹病植株樹勢衰弱，易引起其他病原菌的侵入，導致植株萎凋，產量降低，造成嚴重的經濟損失。

粉蝨的防治

銀葉粉蝨最適生長的溫度爲 25-28℃，從卵發育至成蟲約需 25 日，一隻雌蟲一生平均可產卵 113.3 粒 (Lin *et al.*, 1997)。粉蝨的生長速率快，繁殖率也高，加上成蟲的移動性強，稍不注意防治，族群密度便可快速上升，極易造成嚴重的危害。另外，粉蝨也是重要植物病毒的傳播媒介，田間一旦有其媒介的植物病毒發生，對該農作物之影響更是雪上加霜，嚴重者，將導致全園毀損，農民幾無收成可言。因此，對粉蝨的防治工作，更不可掉以輕心。

害蟲管理就技術上來看，是以生態學原理爲基礎，也就是在採用各種防治技術管理目標害蟲時，必須考慮自然制衡的因子，目標是在降低害蟲族群的豐量，使族群變動在經濟爲害水平 (economic injury level, 簡稱 EIL) 之下，並以維持農業生態系的穩定，永續經營農業生產爲終極目標。然而，重要害蟲種類中又兼具植物病毒蟲媒者，其防治策略應有所調整，除降低蟲媒密度，減緩傳播速率外，降低田間病毒發生率，減少蟲媒獲毒的機會，也是極爲重要的管理觀念。

粉蝨的寄主範圍相當廣，繁殖速率快，爲能有效抑制其族群密度，殺蟲劑的施用是最直接且快速的防治手段，然而，粉蝨喜棲息在葉背，2-4 齡若蟲雖行固著生活，但貼附於葉絨毛下，使得蟲體接觸到藥劑的機會降低，導致藥效不彰，農友因而增加施藥的頻度，也提高抗藥性的危機。因此，對蟲媒粉蝨的管理措施，以快速壓制蟲口密度的手段是優先的措施，殺蟲劑是最快速也是最主要的防治方法，同時也需配合其他管理的方法，以整合性的方式來控制蟲媒密度及田間感染病源，期能有效地抑制植物病毒病害的蔓延，使農民的經濟損失降至最低。故蟲媒粉蝨的防治措施應該監測與預防並進。建議防範措施如下：

1. 育苗場粉蝨的控制：建議在設施內育苗，並設置黃色黏紙，除監測密度外，也可誘捕成蟲，降低產卵的機率，必要時，施以殺蟲劑防治。種苗出場前可先施用系統性殺蟲劑如益達胺，以降低種植至本田時，立即遭受粉蝨成蟲取食爲害及傳播病毒的機會。
2. 監測：可利用懸掛黃色黏紙及計數葉片上的蟲數二種方法來取得粉蝨密度。對農友而言，使用黃色黏紙較方便也明顯。建議每塊瓜園可設置 4-6 張，懸掛位置不可高於植株上方 30 cm，也籲請農友每週自行記錄粉蝨數量，除掌握粉蝨發生密度，也可以作爲採取防治措施的指標。監測工作建議採取區域性聯合監測，必要時採取共同防治，以防杜粉蝨隨氣流移動，而到處傳播植物病毒。爲能瞭解粉蝨進入本田的時機，建議種苗移入本田前 1-2 週，開始懸掛黃色黏紙，以捕殺移入的成蟲，種植前若黏紙上蟲數大於 100 隻時，建議可使用較低稀釋倍數的殺蟲劑或礦物油，噴施於畦面，以減少種苗移入本田時，粉蝨立即移至種苗上爲害。
3. 本田内粉蝨防治：
   (1) 化學防治：以洋香瓜類爲例，苗期至開花期間若可以減少植物病毒的罹病率，至生長中後期，即使罹病，也不至於血本無歸。由於粉蝨成蟲隨氣流到處漂流駐足，因此，保護苗期的生長是第一要務。建議種植後一週内需以殺蟲劑防治一次，隨後再依害蟲密度適時施藥防治。種植一個月内若粉

蝨密度控制得宜，將可以減少南瓜捲葉病毒 (*Squash leaf cure virus*, SqLCV) 的罹病率，此時期，正是 CCYV 開始顯現病徵的時期，建議應繼續加強粉蝨的防治，以減緩病毒的蔓延，否則，若只顧前期，忽略中後期的防治，可能導致 CCYV 的肆虐，造成嚴重的經濟損失。洋香瓜上已登記之殺蟲劑種類見表 2，詳細防治用藥種類及使用方法可參考植保手冊或至藥試所網站 www.tactri.gov.tw 之植物保護網頁查詢，藥劑之選用應審愼並輪替使用，以減緩害蟲抗藥性的產生。化學防治也建議可採取區域性防治，以減少粉蝨成蟲在不同瓜園間移動，而進行獲毒及傳毒。

(2) 物理防治：依據 Pai *et al.* (1999) 研究指出黃色黏紙誘得粉蝨成蟲數，顯著高於藍、綠二種顏色，顯示黃色黏紙對粉蝨成蟲具有較強的誘捕能力，可提供監測與防治之用。以胡瓜園爲例，黃色黏紙對銀葉粉蝨成蟲的有效誘引距離爲 20-30 cm，懸掛黃色黏紙之密度以每 1 m 懸掛一張的誘引效果最佳 (Pai *et al.*, 1999)。因此，以黃色黏紙作爲物理防治工具時，建議每 1-2 m 懸掛一片黃色黏紙，懸掛位置以畦面上方 30 cm 處最佳。在經濟考量下，園內設置大量的黃色黏紙，以誘捕粉蝨成蟲時，建議至少每 10-15 m 設置 1 張，使監測與防杜工作同時進行，其中 4-6 張可作爲監測點，每週更換一次。黃色黏紙之防治效果雖不及殺蟲劑，但多一分措施，就可減少一分的危機。

(3) 栽培防治：儘量避免栽培感病品種。栽植之品種，若氣候條件允許，建議可以提前或延後種植，以避開粉蝨發生的高峰期。簡易設施栽培可以降低粉蝨的爲害，但必需加強入口的阻絕，否則，一旦粉蝨將病毒傳入，若再疏於管理，其造成的損失，將極爲慘重。粉蝨的寄主植物廣泛，作物田附近之雜草經常是防治的死角，使得粉蝨可以在作物田及雜草間移動，因此，清除雜草也是防治粉蝨不可輕忽的重要工作。

(4) 生物防治：目前在台灣地區田間常見之寄生蜂有東方蚜小蜂 (*Eretmocerus orientalis* Silvestri)、淺黃恩蚜小蜂 (*Encarsia transvena* Timberlake) 及日本恩蚜小蜂 (*Encarsia japonica* Viggiani)，其中又以東方蚜小蜂最爲常見且最具防治潛力，然而，生物防治除田間保育工作外，大量釋放於田間，也是必要的工作，然而，大量飼養及釋放等問題，使得生物防治在粉蝨防治上一直無法落實應用。

結語與展望

銀葉粉蝨體型小、生殖潛能高、寄主植物超過 500 種，如十字花科蔬菜、豆科、茄科、莧科、錦葵科、葫蘆科作物、花卉及雜草等，於 1995 年入侵台灣後，迅速竄起，已成爲農作物及花卉上極爲重要的害蟲。銀葉粉蝨除直接取食爲害外，也是重要植物病毒的媒介，如 *Begomovirus* (*Geminiviridae*)、*Ipomovirus* (*Potyviridae*)、*Crinivirus* (*Closteroviridae*)。*Crinivirus* 屬爲近十多年來新興的植物病毒群，是由粉蝨以半持續性方式來傳播，也是僅次於 *Begomovirus*，最受關注由粉蝨傳播的病毒屬。

由於粉蝨田間密度高，成蟲移動性快，加上田間有罹病植株存在，一旦輕忽防

治，將會加速病毒的傳播速率，導致農作物生產量大幅減少。例如 CYSDV 於 2006 年首度在美國加州發現後，造成甜瓜及西瓜損失 5 億多美元。2004 年 CCYV 在日本熊本縣北部發現後，很快地擴散至九州各縣，發生面積至少 200 ha；而國內 2009 年發現，2010 年則重創洋香瓜及甜瓜產業。可見，粉蝨傳播的 criniviruses 會因爲粉蝨害蟲的地位，更加提升其對農作物的威脅性，未來國內可能會陸續出現 crinivriuses 的病毒種類。因此，加強田間監測工作，掌握病毒病害之疫情，適時清除罹病株，爲降低田間感染源的重要手段，而減少蟲媒的密度是減緩病毒蔓延的主要措施。依據文獻報導 *Crinivirus* 屬病毒只藉由粉蝨蟲媒傳播，尚無法以機械性或其他方式來傳播，故清除田間病源及減少粉蝨傳播的機率是防治 criniviruses 病毒病害主要的防治策略。防治粉蝨最快速且有效的方法是噴施殺蟲劑，但必須小心地輪替用藥，以減緩抗藥性的產生。由於傳播媒介爲粉蝨成蟲，建議以黃色黏紙作爲輔助工具誘捕成蟲，以降低田間帶毒粉蝨的數量，達到控制病毒病害發生的目的，使農友的經濟損失減至最低。

2004 年國內即有 criniviruses 病毒的報導，但因未釀成災害，故未受到重視，現在因爲 CCYV 的出現，使得 criniviruses 病毒受到關注。本文摘述國外已記錄 *Crinivirus* 屬病毒的種類，提供研究人員參考，期能早期發現感染不同作物的 criniviruses，儘早提出防範措施，使經濟損失降至最低，爲本文提出的最大目的。

引用文獻

Alzhanova, D. V., Y. Hagiwara, V. V. Peremyslov, and V. V. Dolja. 2000. Genetic analysis of the cell-to-cell movement of beet yellows closterovirus. Virol. 268: 192-200.

Alzhanova, D. V., A. I. Prokhnevsky, V. V. Peremyslov, and V. V. Dolja. 2007. Virion tails of Beet yellows virus: Coordinated assembly by three structural proteins. Virol. 359: 220-226.

Alzhanova, D. V. N., A. J., R. Creamer, and V. V. Dolja. 2001. Cell-to-cell movement and assembly of a plant closterovirus: roles for the capsid proteins and Hsp70 homolog. The Embo. J. 20: 6997-7007.

Bellows, T. S. J., T. M. Perring, R. J. Gill, and D. H. Headrick. 1994. Description of a species of *Bemisia* (Homoptera: Aleyrodidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 87: 195-206.

Brown, J. K., and H. Czosnek. 2002. Whitefly transmission of plant viruses. p. 65-76. i*n*: Advances in Botanical Research. (R. T. Plumb eds.), Academic Press. Volume 36.

Célix, A., A. López-Sesé, N. Almarza, M. L. Gómez-Guillamón, and E. Rodríguez-Cerezo. 1996. Characterization of cucurbit yellow stunting disorder virus, a *Bemisia tabaci*-transmitted closterovirus. Phytopathology 86: 1370-1376.

Chu, C., T. Freeman, J. S. Buckner, T. J. Henneberry, G. Nelson, G. P. Walker, and E. T. Natwick. 2000. *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Alerodidae) colonization on upland cotton and relationships to leaf morphology and leaf age. Ann. Entomol. Soc. Am. 93: 912-919.

Cohen, A. C., C. Chu, T. J. Henneberry, T. Freeman, G. Nelson, J. Buckner, D. Margosan, P. Vail, and L. H. Aung. 1998. Feeding biology of the silverleaf whitefly

(Homoptera: Aleyrodidae). Chinese J. Entomol. 18: 65-81.
Cohen, A. C., and F. E. Nitzany. 1966. Transmission and host range of the tomato yellow leaf curl virus. Phytopathology 56: 1127-1131.
Cohen, J., A. Franck, H. J. Vetten, D. E. Lesemann, and G. Loebenstein. 1992. Purification and properties of closterovirus-like particles associated with a whitefly-transmitted disease of sweet potato. Ann. Appl. Biol. 121: 257-268.
De Barro, P. J., S. S. Liu, L. M. Boykin, and A. B. Dinsdale. 2011. *Bemisia tabaci*: A statement of species status. Annu. Rev. Entomol. 56: 1-19.
Dolja, V. V., J. F. Kreuze, and J. P. T. Valkonen. 2006. Comparative and functional genomics of closteroviruses. Virus Res. 117: 38-51.
Dovas, C. I., and N. I. Katis. 2003. A spot multiplex nested RT-PCR for the simultaneous and generic detection of viruses involved in the aetiology of grapevine leafroll and rugose wood of grapevine. J. Virol. Methods 109: 217-226.
Duffus, J. E. 1965. Beet pseudo-yellows virus, transmitted by the greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*). Phytopathology 55: 450-453.
Duffus, J. E., R. C. Larsen, and H. Y. Liu. 1986. Lettuce infectious yellows virus-A new type of whitefly-transmitted virus. Phytopathology 76: 97-100.
Duffus, J. E., H. Y. Liu, and G. C. Wisler. 1994. Tomato infectious chlorosis virus-A new clostero-like virus transmitted by *Trialeurodes vaporariorum*. Eur. J. Plant Pathol. 102: 219-226.
Duffus, J. E., H. Y. Liu, G. C. Wisler, and R. H. Li. 1996. Lettuce chlorosis virus-A new whitefly-transmitted closterovirus. Eur. J. Plant Pathol. 102: 591-596.
Gu, Q. S., Y. H. Liu, Y. H. Wang, W. G. Huangfu, H. F. Gu, L. Xu, F. M. Song, and J. K. Brown. 2011. First Report of Cucurbit chlorotic yellows virus in Cucumber, Melon, and Watermelon in China. Plant Dis. 95: 73.
Gyoutoku, Y., S. Okazaki, A. Furuta, T. Etoh, M. Mizobe, K. Kuno, S. Hayashida, and M. Oiuda. 2009. Chlorotic yellows disease of melon caused by *Cucurbit chlorotic yellows virus*, a new crinivirus. Jpn. J. Phytopathol. 75: 109-111 (Abstract in English).
Huang, L. H., H. H. Tseng, J. T. Li, and T. C. Chen. 2010. First Report of Cucurbit chlorotic yellows virus Infecting Cucurbits in Taiwan. Plant Dis. 94: 1168.
Janssen, J. A. M., W. F. Tjallingii, and J. C. Van Lenteren. 1989. Electrical recording and ultrastructure of stylet penetration by the greenhouse whitefly. Entomol. Exp. Appl. 52: 69-81.
Jiang, Y. X., L. De Blas, and A. Fereres. 2000. Correlation between whitefly (Homoptera: Alerodidae) feeding behavior and transmission of Tomato yellow leaf curl virus. Entomol. Exp. Appl. 93: 573-579.
Jones, D. R. 2003. Plant viruses transmitted by whiteflies. Eur. J. Plant Pathol. 109: 195-219.
Karasev, A. V. 2000. Genetic diversity and evolution of closteroviruses. Annu. Rev. Phytopathol. 38: 293-324.
Klaassen, V. A., M. L. Boeshore, E. V. Koonin, T. Tian, and B. W. Falk. 1995. Genome structure and phylogenetic snalysis of *Lettuce Infectious Yellows Virus*, a Whitefly-Transmitted, Bipartite Closterovirus. Virology 208: 99-110.

Ko, C. C., C. N. Chen, and C. H. Wang. 2002. A review of taxonomic studies on the *Bemisia tabaci* species comples. Formosan Entomol. 22: 307-341 (in Chinese with English Abstract).

Lei, H., W. F. Tjallingii, and J. C. van Lenteren. 1998. Probing and feeding characteristics of the greenhouse whitefly in association with host-plant acceptance and whitefly strains. Entomol. Exp. Appl. 88: 73-80.

Lei, H., W. F. Tjallingii, and J. C. Van Lenteren. 1999. Analysis of resistance in tomato and sweet pepper against the greenhouse whitefly using electrically monitored and visually observed probing and feeding behavior. Entomol. Exp. Appl. 92: 299-309.

Li, J. T., L. F. Chen, M. C. Lin, T. C. Chen, and L. H. Huang. 2010. Survey of occurrence of Cucurbit chlorotic yellows virus and whiteflies in various cucurbit fields in Taiwan. Plant Prot. Bull. (Taiwan) 52: 142. (Abstract in Chinese).

Lin, F. C., T. H. Su, and C. L. Wang. 1997. Effect of temperature on the development and reproduction of silverleaf whitefly (*Bemisia argentifolii* Bellowa & Perring) and its population fluctuation on Poinsettia. Chinese J. Entomol. 17: 66-79 (in Chinese with English Abstract).

Martín, G., I. M. Cuadrado, and D. Janssen. 2011. Bean yellow disorder virus: Parameters of transmission by *Bemisia tabaci* and host plant range. Insect Sci. 18: 50-56.

Martelli, G. P., A. A. Agranovsky, M. Bar-Joseph, D. Boscia, T. Candresse, R. H. A. Coutts, V. V. Dolja, B. W. Falk, D. Gonsalves, W. Jelkmann, A. V. Karasev, A. Minafra, S. Namba, H. J. Vetten, G. C. Wisler, and N. Yoshikawa. 2002. The family *Closteroviridae* revised. Arch. Virol. 147: 2039-2044.

Martin, J. H., and L. A. Mound. 2007. An annotated check list of the world's whiteflies (Insecta: Hemiptera: Aleyrodidae). Zootaxa 1492: 1-84.

Ng, J. C. K., and B. W. Falk. 2006. *Bemisia tabaci* transmission of specific *Lettuce infectious yellows virus* genotypes derived from in vitro synthesized transcript-inoculated protoplasts. Virol. 352: 209-215.

Ng, J. C. K., T. Tian, and B. W. Falk. 2004. Quantitative prarmeters determining whitefly (*Bemisia tabaci*) transmission of Lettuce infectious yellows virus and an engineered defective RNA. J. Gen. Virol. 85: 2697-2707.

Okazaki, S., S. Yamasaki, A. Furuta, K. Kuno, Y. Gyoutoku, and M. Okuda. 2008. The host range of cucurbit chlorotic yellows virus. Jpn. J. Phytopathol. 74: 218 (Abstract in Japanese).

Okuda, M., S. Okazaki, S. Yamasaki, S. Okuda, and M. Sugiyama. 2010. Host range and complete genome sequence of *Cucurbit chlorotic yellows virus*, a new member of the genus *Crinivirus*. Phytopathology 100: 560-566.

Pai, K. F., C. C. Chen, and Y. S. Wang. 1999. Attractiveness of yellow sticky traps for the silverleaf whitefly *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) on Cucumber. Bulletin of Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Taiwan 62: 23-30. (In Chinese, Abstract in English).

Peremyslov, V. V., I. A. Andreev, A. I. Prokhnevsky, G. H. Duncan, M. E. Taliansky, and V. V. Dolja. 2004. Complex molecular architecture of beet yellows virus particles. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 101: 5030-5035.

Pringle, C. R. 1996. Virus Taxonomy 1996 - A Bulletin from the 10th International Congress of Virology In Jerusalem. Arch. Virol. 141: 2251-2256.

Satyanarayana, T., S. Gowda, M. A. Ayllón, and W. O. Dawson. 2004. Closterovirus bipolar virion: Evidence for initiation of assembly by minor coat protein and its restriction to the genomic RNA 5' region. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 101: 799-804.

Schaefers, G. A., and E. R. Terry. 1976. Insect transmission of sweet potato disease aagents in Nigeria. Phytopathology 66: 642-645.

Segundo, E., G. Martin, I. M. Cuadrado, and D. Janssen. 2004. A new yellowing disease in *Phaseolus vulgaris* associated with a whitefly-transmitted virus. Plant Pathol. 53: 517.

Tian, T., L. Rubio, H. H. Yeh, B. Crawford, and B. W. Falk. 1999. Lettuce infectious yellows virus: in vitro aqcuisition analysis using partially purified virions and the whitefly *Bemisia tabaci*. J. Gen. Virol. 80: 1111-1117.

Tian, T., J. Soong, G. C. Wisler, J. E. Duffus, and B. W. Falk. 1996. Generation and cloning of specific cDNAs corresponding to four whitefly-transmitted viruses using RT-PCR and degenerate oligonucleotide primers corresponding to the closterovirus gene encoding the heat shock protein 70 homolog. Phytopathology 86: 1167-1173.

Tsai, W. S., S. L. Shih, S. K. Green, P. Hanson, and H. Y. Liu. 2004. First report of the occurrence of *Tomato chlorosis virus* and *Tomato infectious chlorosis virus* in Taiwan. Plant Dis. 88: 311-311.

Tseng, H. H., T. C. Chen, and L. H. Huang. 2009. Diagnosis and identification of a new emerging crinivirus on cucurbits. Plant Prot. Bull. (Taiwan) 51: 132. (Abstract in Chinese).

Wintermantel, W. M., L. L. Hladky, A. A. Cortez, and E. T. Natwick. 2009. A new expanded host range of *Cucurbit yellow stunting disorder virus* includes three agricultural crops. Plant Dis. 93: 685-690.

Wisler, G. C., and J. E. Duffus. 2001. Transmission properties of whitefly-borne Criniviruses and their impact on virus epidemiology. p.293-308. *in*: Virus-Insect-Plant Interactions. (F. H. Kerry, P. S. Oney and E. D. James eds.) San Diego, Academic Press.

Wisler, G. C., J. E. Duffus, H. Y. Liu, R. H. Li, G. W. Simone, and R. C. Hochmuth. 1996a. A new, whitefly-transmitted virus infecting tomato from Florida. Phytopathology: S71-S72. (Abstract).

Wisler, G. C., J. E. Duffus, H. Y. Liu, and R. H. Li. 1998a. Ecology and epidemiology of whitefly-transmitted closteroviruses. Plant Dis. 82: 270-280.

Wisler, G. C., R. H. Li, H. Y. Liu, D. S. Lowry, and J. E. Duffus. 1998b. Tomato chlorosis virus: A new whitefly-transmitted, phloem-limited, bipartite closterovirus of tomato. Phytopathology 88: 402-409.

Wisler, G. C., H. Y. Liu, V. A. Klaassen, J. E. Duffus, and B. W. Falk. 1996b. Tomato infectious chlorosis virus has a bipartite genome and induces phloem-limited inclusions characteristic of the closteroviruses. Phytopathology 86: 622-626.

Zeng, R. D., F. M., W. J. Chen, and J. P. Lu. 2011. First Report of Cucurbit chlorotic yellows virus Infecting Melon in China. Plant Dis. 95: 354.

Biology of whitefly-transmitted criniviruses and tactics of whitefly control

Ju-Ting Li[1], Li-Hsin Huang[1,2]

[1] Taiwan Agricultural Chemicals And Toxic Substance Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan, Wu-feng , Taichung 413, Taiwan, ROC.
[2] Corresponding author, e-mail: lhhuang@tactri.gov.tw

Abstract

Crinivirus is one genus of the family *Closteroviridae* that causes important virus diseases in vegetable crops, such as lettuce, cucurbit and tomato. Criniviruses are transmitted by whiteflies in a semipersistent manner; the viruses can retain in whiteflies for a few days or a couple of weeks after acquisition depending on the length of the acquisition feeding period. Fourteen species in the genus *Crinivirus* were identified so far, *Tomato infectious chlorosis virus* (TICV), *Tomato chlorosis virus* (ToCV) and *Cucurbit chlorotic yellows virus* (CCYV), were the three that reportedly occurred in Taiwan. *Bemisia tabaci* biotypes A, B and Q, *Trialeurodes vaporariorum* and *T. abutilonea* were reported to transmit criniviruses, among them *B. tabaci* biotype B that transmitted CCYV caused significant yield losses in cantaloupe, melon and cucumber in Taiwan in 2010. The important control measures for limiting the spread of criniviruses are to control the population of whitefly vectors and to use virus-free seedlings. The most effective method for whitefly control is to apply the insecticide-based control program. Yellow sticky traps [papers] can also be used as an auxiliary tool to capture adult whiteflies to slow down the spreading of whitefly-transmitted viruses.

Key words: *Crinivirus*, whitefly vector, *Bemisia tabaci*, *Trialeurodes vaporariorum*, *T. abutilonea*, biotype

表 1. 粉蝨傳播之 criniviruses 種類、寄主範圍及地理分布

Table 1. Species, host range and geographic distribution of whitefly-transmitted criniviruses

Criniviruses	Host range	Distribution	Vectors
Abutilon yellows virus (AbYV)	*Abutilon* spp.	USA	*Trialeurodes abutilonea*
Diodia vein chlorosis virus (DVCV)	*Diodia virginiana*, button-weed	USA	*T. abutilonea*
Beet pseudo yellows virus (BPYV)	Very wide, beet, strawberry, spinach, endive, lettuce, squash, cucumber, muskmelon, sugar beet, carrot, dandelion, *Gomphrena*, *Callistephus*, *Aguilegia*, *Tagetes* (marigold), zinnia, and *Godetia* sp.	World wide, New Zealand, USA, France, Netherlands, Spain, Turkey, Japan, Australia, France, Greece, England, Costa Rica	*T. vaporariorum*
Bean yellow disorder virus (BnYDV)	*Phaseolus vulgaris* cv. Donna	Spain	*Bemisia tabaci* biotype Q
Lettuce chlorosis virus (LCV)	Lettuce, sugar beet, weeds	USA	*B. tabaci* biotype A and B
Lettuce infectious yellows virus (LIYV)	Very wide, lettuce, sugar beet, cucurbits, weeds	USA, Mexico	*B. tabaci* biotype A
Cucurbit yellow stunting disorder virus (CYSDV)	Cucurbitaceae, melon, watermelon, cucumber, pumpkin, alfalfa, lettuce, snap bean, weeds, alkali mallow, Wright's groundcherry	United Arab Emirates, Saudi Arabia, Turkey, Egypt, Spain, and Israel, Lebanon, Syria, American, Morocco, Canary Islands, Jordan, Mexico, Portugal, France, Mexico	*B. tabaci* biotype A and B

(continued)

Criniviruses	Host range	Distribution	Vectors
Cucurbit chlorotic yellows virus (CCYV)	Melon, watermelon, cucumber, pumpkin, bottle gourd	Japan, Taiwan,China	*B. tabaci* biotype B and Q
Strawberry pallidosis associated virus (SPaV)	Strawberry	Australia, Canada, USA	*T. vaporariorum*
Blackberry yellow vein virus (BYVaV)	Blackberry, strawberry	USA	*T. vaporariorum*
Sweet potato chlorotic stunt virus (SPCSV)	Sweet potato	World wide, Africa, Argentina, Israel, Nigeria, American, China, Uganda	*B. tabaci* biotype B *T. abutilonea*
Potato yellow vein virus (PYVV)	*Solanum*, weeds, potato, *Catharanthus roseus*, *Lycopersicon* spp., *Polygonium* spp., *Rumex obtusifolium*, *Solanum nigrum*, *S. tuberosum*, *Tagetes* spp.	USA, Colombia, Ecuador, Peru, Venezuela	*T. vaporariorum*
Tomato infectious chlorosis virus (TICV)	Tomato, weeds, bristly oxtongue, tree tobacco, wild artichoke, ranunculus, China aste, petunia, lettuce, ornamentals, zinnia	USA, Indonesia, Japan, Jordan , Taiwan, Italy, Greece, Spain, Taiwan, Czech Republic, Mexico,	*T. vaporariorum*
Tomato chlorosis virus(ToCV)	Tomato, weed, agronomic, and ornamental plant, Sweet Pepper, zinnia	USA, Spain, Italy, Greece, Morocco, Puerto Rico, Taiwan, Europe, Canary Islands, Portugal, Japan, Hungary, Brazil,	*B. tabaci* biotype A, B *T. abutilonea* *T. vaporariorum*

表 2. 洋香瓜田防治粉蝨之已登記藥劑種類
Table 2. Categories of insecticides registered on muskmelon

藥 劑 名 稱	化學分類	使用倍數	安全採收期(天)
20% 達特南水溶性粒劑	新尼古丁類(IRAC-4A)	3000	6
16% 可尼丁水溶性粒劑	新尼古丁類(IRAC-4A)	3000	9
10% 賽速安水溶性粒劑	新尼古丁類(IRAC-4A)	4000	6
9.6% 益達胺溶液	新尼古丁類(IRAC-4A)	1500	21
2% 阿巴汀乳劑	氯離子通道活化(IRAC-6)	1000	12
2.4% 第滅寧水懸劑	合成除蟲菊類(IRAC-3A)	1000	6
25% 派滅淨可濕性粉劑	取食抑制劑(IRAC-9B)	1200	6
11% 百利普芬乳劑	昆蟲生長調節劑類-青春激素類似物(IRAC-7C)	1000	9
25% 布芬淨可濕性粉劑	昆蟲生長調節劑類-幾丁質合成抑制劑(IRAC-16)	1000	15
10% 氟尼胺水分散性粒劑	同翅目取食抑制(IRAC-9C)	2000	6
10% 克凡派水懸劑	干擾質子梯度分解氧化磷酸化反應(IRAC-13)	1000	6
40.4% 賽果培水懸劑	新尼古丁類(IRAC-4A)	4000	21

圖 1. 國內瓜類褪綠黃化病毒感染洋香瓜及甜瓜之病徵。(A) 初期病徵。(B) 葉脈間黃化、葉脈呈綠色之病徵。(C) 老葉及中老葉之病徵。

Fig. 1. Symptoms on cantaloupe and melon plants infected with *Cucurbit chlorotic yellows virus*. (A) obscure yellow spots, (B) interveinal yellowing, (C) infected melon plants.

國家圖書館出版品預行編目資料

農作物害蟲及其媒介病害整合防治技術研討會專刊 Proceedings of the Symposium on Integrated Management Technology of Insect Vectors and Insect-Borne Diseases / 王清玲等作；石憲宗、張宗仁 主編 – 初版 –臺中市：農委會農業試驗所；台北市：農委會動植物防疫檢疫局、台灣昆蟲學會 2011, 07（民 100, 07） 面：19 × 26 公分 含索引 ISBN (平裝) 1. 農作物 2. 媒介昆蟲 3. 蟲媒病害 4. 整合防治技術

＝農作物害蟲及其媒介病害整合防治技術研討會專刊＝

發　行：行政院農委會農業試驗所
出　版：行政院農委會農業試驗所、農委會動植物防疫檢疫局、台灣昆蟲學會
　地址：台中市霧峰區中正路 189 號
主　編：石憲宗、張宗仁
校　對：李啟陽、張淑貞、洪婉芳、洪笠瑛
作　者 (依姓氏筆畫排序)：
王清玲、石憲宗、李啟陽、李奇峰、李如婷、林長平、林鳳琪、林映秀、邱安隆、邱一中、胡仲祺、洪挺軒、段淑人、高清文、張宗仁、張瑞璋、張淑貞、張沛文、陳保良、陳啟予、陳淑佩、陳惟德、黃莉欣、馮鈞育、詹富智、溫育德、鄭櫻慧、鄧汀欽、鄧文玲、蔡偉皇、蔡志偉、蔡佳欣、蘇鴻基、蘇文瀛、蘇秋竹
研討會幹部：江明耀、李奇峰、謝雨蒔、林鳳琪、董耀仁、李啟陽、張淑貞、姚美吉、黃毓斌、邱妍華、戴淑美、白桂芳、路光暉、陳保良、蔡偉皇、石憲宗
電　話：(04) 2330-2301
傳　真：(04) 2333-8162
承印者：峰林實業有限公司
電　話：(04) 2296-7677
出版日期：中華民國 100 年 7 月出版
定價：新台幣 300 元
展售處：
五南文化廣場　400 台中市中山路 6 號　04-22260330 轉 27
國家書店　104 台北市松江路 209 號 1 樓 02-25180207 (代表號)
國家網路書店　http://www.govbooks.com.tw

ISBN：
GPN：